

**EL PAPEL DEL EXPERIMENTO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL
CONOCIMIENTO FÍSICO, EL CASO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL POTENCIAL
ELÉCTRICO COMO UNA MAGNITUD FÍSICA. ELEMENTOS PARA
PROPUESTAS EN LA FORMACIÓN INICIAL Y CONTINUADA DE
PROFESORES DE FÍSICA**

**JULIÁN DAVID MEDINA TAMAYO
MILTON GONZALO TARAZONA PALACIO**

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE EDUCACION AVANZADA
MEDELLÍN
2011**

**EL PAPEL DEL EXPERIMENTO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL
CONOCIMIENTO FÍSICO, EL CASO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL POTENCIAL
ELÉCTRICO COMO UNA MAGNITUD FÍSICA. ELEMENTOS PARA
PROPUESTAS EN LA FORMACIÓN INICIAL Y CONTINUADA DE
PROFESORES DE FÍSICA**

**JULIÁN DAVID MEDINA TAMAYO
MILTON GONZALO TARAZONA PALACIO**

**Trabajo de Investigación como requisito parcial para
optar al título de Magister en Educación, línea de
Educación en Ciencias Experimentales**

DIRECTOR

Ángel Enrique Romero Chacón

PhD. Epistemología e Historia de las Ciencias

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE EDUCACION AVANZADA
MEDELLÍN**

2011

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVOS	8
CAPITULO I	9
1. LA ACTIVIDAD EXPERIEMENTAL: LOS INSTRUMENTOS Y PROCESOS DE MEDIDA	9
CAPITULO II	26
2. EL CASO DE LA MEDICIÓN DEL POTENCIAL ELÉCTRICO SOBRE LA SUPERFICIE DE UN CONDUCTOR: LOS INSTRUMENTOS Y PROCESOS DE MEDICIÓN, COMO UN CAMPO ENTRE LA TEORÍA Y LA EXPERIENCIA	26
CAPITULO III	55
3. UNA EXPERIENCIA CON MAESTROS EN FORMACIÓN.	55
INTRODUCCIÓN	55
CAPÍTULO IV	69
4. UNA PROPUESTA PARA EL TRABAJAR LA MAGNITUD POTENCIAL ELÉCTRICO DESDE UN ENFOQUE FENOMENOLÓGICO	69
CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE TRABAJO	103
ANEXOS	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

LISTA DE FIGURAS

		PÁG.
Figura 1.	Sistema conductor para la comparación entre la electrificación por inducción y contacto	1
Figura 2.	Indicador construido con cartulina colbón y un alfiler	21
Figura 3.	Fotografías de experiencias sobre indicadores eléctricos	22
Figura 4.	Electroscopio simple, y un indicador de papel	23
Figura 5.	Electroscopio propuesto por M. Guerra	26
Figura 6.	Indicador eléctrico	30
Figura 7.	Sistema de los efectos eléctricos	32
Figura 8.	Comportamiento de conductores cerrados: interior	35
Figura 9.	Comportamiento de conductores cerrados: exterior	36
Figura 10.	Contacto de cuerpos electrificados con un conductor cerrado	37
Figura 11.	La electrificación en zonas 1	37
Figura 12.	La electrificación en zonas 2	38
Figura 13.	Electroscopio simple	40
Figura 14.	El efecto de la distancia de cuerpos electrificados 1	41
Figura 15.	Electroscopio propuesto por M. Guerra	41
Figura 16.	El efecto de la distancia de cuerpos electrificados 2	42
Figura 17.	El efecto de la forma de cuerpos electrificados 1	42
Figura 18.	El efecto de la forma de cuerpos electrificados 2	42
Figura 19.	Electroscopios con el mismo estado de electrificación	45
Figura 20.	Electroscopios con diferente estado de electrificación	46
Figura 21.	Comparación con Fluidos	46
Figura 22.	Condensador general	48
Figura 23.	Cuerpo electrificado con diferentes grados de curvatura 1	49
Figura 24.	Condensador de geometría estable	49
Figura 25.	Cuerpo electrificado con diferentes grados de curvatura 2	50
Figura 26.	Extrapolación del recipiente metálico	51
Figura 27.	Extrapolación para un solo electroscopio	51
Figura 28.	Situación final en la experiencia mental	52
Figura 29.	Sistema unificado	53
Figura 30.	Grados de escala 1	54
Figura 31.	Grados de escala 2	54
Figura 32.	Grados de escala 3	54
Figura 33.	Propuesta de Maxwell	55
Figura 34.	Actividad sobre la conducción eléctrica	64
Figura 35.	Actividad sobre la interacción eléctrica	66

Figura 36.	Indicador electroestático	77
Figura 37.	Sistema A	80
Figura 38.	Sistema “A” electrificado por conducción	81
Figura 39.	Sistema “A” Electrificado por inducción	81
Figura 40.	Electrificación por inducción	82
Figura 41.	Situación problema	85
Figura 42.	Situación problema 2	86
Figura 43.	Indicadores eléctricos	87
Figura 44.	Situación para el análisis del efecto de la distancia de cuerpos electrificados 1	88
Figura 45.	Electroscopio propuesto por M. Guerra	89
Figura 46.	Situación análoga para el análisis del efecto de la distancia de cuerpos electrificados	89
Figura 47.	Situación análoga para el análisis del efecto de la forma de cuerpos electrificados	89
Figura 48.	Juego de electroscopios	90
Figura 49.	Situación 1 para el análisis por estados	95
Figura 50.	Situación 2 para el análisis por estados	95
Figura 51.	Analogía con fluidos	96
Figura 52.	Situación 3 para el análisis por estados	96
Figura 53.	Análisis de regiones limitadas por superficies conductoras	97
Figura 54.	Situación experiencia mental 1	100
Figura 55.	Situación experiencia mental 2	101
Figura 56.	Situación experiencia mental 3	102
Figura 57.	Situación experiencia mental 4	103
Figura 58.	Electroscopio con caja metálica calibrarlo con pilas	104

INTRODUCCIÓN

Generalmente se afirma que la física es una ciencia de carácter experimental. Al respecto, puede afirmarse que, en el ámbito educativo no hay consenso en torno a la forma como se asume el papel que juega la experimentación. De la misma forma, pocas veces son objeto de análisis y reflexión las implicaciones de tales consideraciones en las prácticas de enseñanza de la física.

Causa de ello, es el excesivo instrumentalismo con el que son enfocadas la mayoría de las investigaciones educativas en este campo, donde especialmente, los trabajos sobre la actividad experimental se centran en el desarrollo de técnicas y procedimientos para una mayor eficiencia en la realización de experimentos y, en el mejor de los casos, en la búsqueda de estrategias didácticas para facilitar su enseñanza.

Al respecto, algunas investigaciones han puesto de manifiesto que a pesar de los numerosos estudios sobre la importancia de la experimentación en la enseñanza de la física, aún no se han logrado superar dificultades importantes.

Se ha encontrado que el trabajo práctico tiene poco impacto en la comprensión del estudiante (Watson y El all, 1995), además que es difícil constatar la utilidad del trabajo de laboratorio hacia la meta de aprender conceptos científicos (Hodson 1993, 1996), y que las ventajas del trabajo de laboratorio sobre la comprensión del carácter de los conocimientos de física son cuestionables (Millar, 1989).

Investigaciones más recientes señalan que la mayoría de propuestas educativas sobre el rol y uso del experimento en la enseñanza de la física, se fundamentan aún en las clásicas perspectivas *deductiva e inductiva* de la ciencia (Koponen & Mäntylä, 2004). Según tales perspectivas, el experimento se considera como mero elemento verificador de los enunciados teóricos o como la única fuente de conocimiento a partir de la cual, se obtienen las diferentes teorías.

Estas consideraciones revelan la importancia de reflexionar sobre el papel del experimento en la construcción del conocimiento científico y sobre la necesidad de que en dichas propuestas sobre la actividad experimental en la enseñanza y el aprendizaje de la física contribuyan a la construcción de imágenes contemporáneas del desarrollo del conocimiento científico, de tal modo que se superen las clásicas perspectivas inductiva y deductiva sobre las cuales está estructurado el currículo actual.

A través de este trabajo de investigación, se pretende aportar elementos teóricos y procedimentales que contribuyan a desvirtuar, en la enseñanza de la física, la idea de que separar la teoría de la experimentación y así mismo, separar la teoría del diseño experimental, es una acción claramente errada. (Romero et al, 2009).

Se espera que tales reflexiones y propuestas, tengan impacto educativo en la enseñanza de la física, en la medida en que se asume que pensar y abordar el problema de la enseñanza y el aprendizaje de esta disciplina, está necesariamente determinado y condicionado por la particular relación que el docente establece con el saber que enseña (Bkouche, 1998).

Complementariamente, a través de tales reflexiones se pretende contribuir a superar la idea que el único objetivo del docente que imparte el espacio de conceptualización referente a la física – de ahora en adelante docente de física- está relacionado con los procesos de difusión de esta ciencia y no con los procesos de construcción social del conocimiento.

Debe aclararse además, que este trabajo de investigación hace parte del estudio: *“La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico, Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos”* (Romero et al, 2009) adelantada por el Grupo de Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza –ECCE-; de la Facultad de Educación, Universidad de Antioquia.

Este trabajo de investigación es abordado desde un enfoque cualitativo-interpretativo, donde en primera instancia se realiza un análisis documental que implica la lectura y abordaje de fuentes primarias, con lo cual se pretende diseñar un material didáctico que permita caracterizar procesos de identificación y cuantificación de magnitudes físicas, en particular el Potencial Eléctrico. Y en segundo lugar, se realizó la construcción de algunos episodios sobre actividades experimentales en los procesos de formación de los individuos, donde la información y el análisis se hará a través de grupos de discusión (Flick, 2004).

OBJETIVOS

Objetivo General

Promover reflexiones respecto a la relación del docente con el saber disciplinar que enseña, desde un enfoque histórico y epistemológico, y una perspectiva cultural de la enseñanza de la física.

Objetivos Específicos

- Adelantar una indagación teórica, fundamentada en el uso de análisis históricos y epistemológicos de la física, que permita caracterizar procesos de identificación y cuantificación de magnitudes físicas en el campo del electromagnetismo (tales como el potencial eléctrico), a partir de las cuales se identifiquen algunos criterios para el trabajo experimental en la enseñanza de la física.
- Construir una perspectiva sobre el papel del experimento en el desarrollo de pensamiento físico, a través de análisis históricos y epistemológicos, y un estudio de caso con docentes del municipio de Medellín y estudiantes en Formación inicial en licenciatura.
- Diseñar un material didáctico dirigido a la formación inicial y continuada de profesores de física, que favorezca la explicitación de lenguajes, la construcción de formas de proceder en la actividad experimental y la organización de la experiencia, como maneras de construcción de representaciones en el ámbito de la enseñanza del potencial eléctrico.

CAPITULO I

1. LA ACTIVIDAD EXPERIEMENTAL: LOS INSTRUMENTOS Y PROCESOS DE MEDIDA

Usualmente, los trabajos sobre la actividad experimental se centran en el desarrollo de técnicas y procedimientos para una mayor eficiencia en la realización de experimentos y, en otros casos, como una estrategia didáctica para facilitar su enseñanza. De forma particular, en los ámbitos escolares y en la literatura de educación en ciencias se hacen reiteraciones críticas frente a los procedimientos experimentales tipo “recetas de cocina” por considerarlas no apropiadas en una perspectiva actual de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

Según esta crítica, los procedimientos experimentales usuales afianzan una perspectiva empirista de la construcción de conocimiento científico y sobrevaloran el carácter instrumental de la enseñanza de las ciencias.

Particularmente la actividad experimental en el ámbito educativo en el medio local colombiano, se sigue reduciendo a un instrumentalismo fundamentado en las clásicas perspectivas inductiva y deductiva, al continuarse concibiendo tal actividad como contrapuesta a la actividad de teorización y construcción conceptual. En tales prácticas usualmente, se asume el papel del experimento como un simple recurso didáctico, subsidiario de la enseñanza, pero en todo caso contingente en la explicación misma de los fenómenos naturales y las correspondientes estrategias epistemológicas utilizadas por quienes realizan tales explicaciones.

En este sentido algunas investigaciones, a saber, *Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching Physics: A Suggestion for Epistemological Reconstruction*. (KOPONEN, I. y Mäntylä, 2004) han puesto de manifiesto que, a pesar de los numerosos estudios sobre la importancia de la experimentación en la enseñanza de la física, aún no se han logrado superar dificultades importantes en este aspecto. De forma particular se ha encontrado, que el trabajo práctico tiene poco impacto en la comprensión del estudiante (Watson y otros 1995), que es difícil constatar la utilidad del trabajo de laboratorio hacia la meta de aprender conceptos científicos (Hodson 1993, 1996), y que las ventajas del trabajo de laboratorio sobre la comprensión del carácter de los conocimientos de física son cuestionables (Millar, 1989).

En términos generales, las actividades didácticas centradas en la experimentación, propuestas para los cursos de física de nivel medio y para los cursos introductorios de física a nivel universitario, pueden ser clasificadas en dos tipos:

Uno, en el cual se tiene la pretensión de que la instancia empírica permite demostrar de forma incontrovertible y limpia el cumplimiento de un resultado teórico. Esta visión del experimento está fundamentada en la ilusión de que los enunciados teóricos o bien se demuestran o bien se obtienen a partir de la práctica, una pretensión que es tal vez la visión de la actividad experimental más utilizada en los cursos de física.

Otro, en el cual se parte de las concepciones alternativas (preconceptos) que tienen los estudiantes sobre determinado fenómeno y se pretende constatar, a partir de la contrastación empírica, cuán equivocados estaban. A través de esta concepción del experimento, se busca “sorprender” el sentido común de los estudiantes, pero tal sorpresa usualmente queda en la mera motivación para la clase.

A pesar de las diferencias en la intención y presentación de estas dos maneras de asumir la actividad experimental, se pueden identificar elementos comunes:

- En ninguna de ellas existe, por parte del estudiante, una apropiación sobre la temática de la clase (o de la práctica experimental). Esta situación convierte al profesor en el centro de la clase y hace de ella un monólogo en el cual, es el profesor quien plantea los problemas y a la vez el que los resuelve.
- Ambas se fundamentan en la idea de que los datos experimentales (resultados de las medidas) son independientes del sujeto, por lo que son considerados absolutos y esconden, de alguna manera, las leyes y conceptos físicos.
- Ambas se basan en la ilusión de que es posible un camino lineal entre la actividad empírica y la teorización.
- Complementariamente, algunas investigaciones han identificado ciertas dificultades como que la mayoría de propuestas didácticas omiten una fundamentación en factores cognitivos relevantes del estudiante (Pesa, 1999; Arrieta y Marín, 2003).

Por otro lado, y pese a las dificultades planteadas es posible encontrar en las investigaciones sobre la actividad experimental ciertos consensos:

- La reflexión y participación del alumno en las prácticas de laboratorio es importante.
- Establecer una relación más íntima entre las clases teóricas y prácticas, entre los contenidos conceptuales y los procedimentales.
- La educación científica del alumnado es más que hacer actividades que simulen

- las mejores características del quehacer científico.
- Es necesario diseñar e implementar prácticas de laboratorio efectivas, es decir, que tengan un valor didáctico y que el alumno pueda conceptualizar a partir de la experimentación.

Por consiguiente, se considera en primera instancia que gran parte de la causa de estas dificultades recae en que la mayoría de los trabajos que analizan la actividad experimental en la enseñanza y aprendizaje de la física, lo hacen desde perspectivas instrumentalistas de la didáctica de la física. En tales estudios se asume el papel del experimento como un simple recurso didáctico, subsidiario y complemento de la enseñanza y aprendizaje, pero en todo caso, la actividad experimental se ve separada del componente teórico.

Se considera además que el sujeto que realiza la experimentación es tomado como alguien totalmente externo, tanto a la organización teórica y conceptual, como al diseño del experimento mismo.

Tales consideraciones ponen de manifiesto la necesidad de reflexionar sobre el papel del experimento en la construcción del conocimiento científico y en la generación de propuestas sobre la actividad experimental en la enseñanza y el aprendizaje de la física que, superando las clásicas perspectivas inductiva y deductiva sobre las cuales está estructurado el currículo actual, contribuyan a la construcción de imágenes contemporáneas del desarrollo del conocimiento científico.

Por otro lado y tal como lo menciona Malagón (2002), es preciso asumir el rol desempeñado por la actividad experimental en la enseñanza y el aprendizaje de la física de otra forma, es necesario “entender el experimento en estrecha relación con las construcciones conceptuales, en este sentido siguiendo a Malagón, se puede “...pensar que la teoría y la experiencia se mueven una alrededor de la otra y que este movimiento corresponde a una cada vez mayor refinación en la elaboración teórica y de igual forma, aun refinamiento cada vez mayor en los procedimientos experimentales” (Malagón, 2002: 13).

Por tanto construir propuestas que propendan por desvirtuar la imagen de ciencia, a partir de la que ha propiciado una clara separación entre el experimento y la teoría, así como también, una separación entre la teoría y el diseño experimental con el sujeto que experimenta.

En este sentido se considera que la actividad experimental debe dejar de ser una actividad estandarizada, contingente, circunstancial o improvisada en las clases de física. En consecuencia, en este trabajo de investigación, al igual que la investigación de la cual esté hace parte, asume como pertinente y necesario para el diseño y puesta en práctica de propuestas alternativas en torno a la actividad experimental en la enseñanza en física, adelantar paralelamente reflexiones sobre el rol que desempeña el experimento en la constitución de conocimiento físico.

En particular esta postura asume la relación entre las construcciones conceptuales y la experimentación es de constitución, es decir, a diferencia de otras perspectivas donde la actividad experimental se ve separadamente de las construcciones conceptuales, o como actividad complementaria a las mismas, desde el punto de vista de los investigadores que hacen parte de este estudio, tal separación no se da, todo lo contrario, la conceptualización puede hacerse a partir de la actividad experimental, y viceversa, la actividad experimental solo tiene sentido a la luz de unos referentes conceptuales. De esta manera, la actividad experimental no antagoniza con la imagen de conocimiento y el quehacer científico implicados en los enfoques contemporáneos de la historia de las ciencias.

La experimentación y su relación con la construcción del conocimiento

Lo anterior, además de plantear un problema no solo en la educación, sino también en la ciencia misma, brinda la posibilidad de ejemplificar cómo una reconstrucción histórica y epistemológica de la función del experimento en la construcción y justificación del conocimiento científico, presenta buenos elementos para posibles propuestas de solución a tales dificultades educativas¹.

Si bien una de las perspectivas hegemónicas es aquella a través de la cual se asume dominante el papel del experimento como elemento justificador del conocimiento, es decir, como un agente verificador o refutador de las predicciones teóricas (Nickles 1993), o como fuente exclusiva del mismo, hay otras posiciones en las cuales la relación entre la teoría y la práctica no es tan excluyente.

Para Hanson (1958), por ejemplo, todas las observaciones son “Teóricamente cargadas” y el reconocimiento de fenómenos, de la observación y de hechos es dirigido por concepciones teóricas. Según él, “*las teorías físicas proporcionan los patrones dentro de los cuales los datos aparecen inteligibles*” (Hanson 1958, P. 344). Desde otras perspectivas los fenómenos se abordan en términos de modelos y se resalta que la separación entre la teoría y la experimentación, no ocurre en “principio” sino en su construcción mediante el uso de modelos o en términos de una jerarquía de modelos, (Suppe 1977; Van Fraassen 1980; Giere 1988, 1999).

Paralelamente, diferentes personajes que contribuyeron a la fundamentación de la denominada “Perspectiva fenomenológica del mundo físico”, entrelazan los experimentos y la teoría. Duhem (1906) observa que “un experimento en la física

¹ se considera que una reconstrucción histórica es intencionada, y similarmente como se construye un fenómeno, en el cual solo son relevantes solo algunos aspectos con los cuales se hacen la representación. similarmente a la hora de hacer una reconstrucción histórica no nos interesa todo, solo se identifican que cosas son relevantes para la solución del problema. justificar de esta manera el uso del análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza

no es simplemente la observación de un fenómeno; es además, la interpretación teórica de este fenómeno”. Complementariamente, la denominada experimentación mental que presenta el estrecho vínculo entre el pensamiento y la experiencia, donde las fronteras entre la teoría y la experiencia se desvanecen; por un lado se sostiene que hay una serie de conocimientos y razonamientos que son condiciones previas y necesarias para la realización de cualquier experiencia, pero, paralelamente se le atribuye a la experiencia, nuevas formas de observar la realidad y por tanto como aspecto que contribuye a ampliar los referentes conceptuales que se tienen. (Mach, 1948).

Precisamente sobre estos aspectos es que consideraciones como las presentadas por Duhem (1906) cobran sentido hoy no solo en la construcción del conocimiento sino también en la enseñanza de la Física. Duhem considera tres campos en el que hacer del físico que giran uno en torno al otro. El primero es el campo de los hechos experimentales, estos hechos ocurren en el mundo exterior, son reconocidos por el sentido del físico, y su capacidad de generalizar, inducir y reconocer sus irregularidades. En segundo lugar el campo de la teoría, la cual debe de ofrecer una descripción a través de símbolos, tan completa y detallada como sea posible del campo de los hechos experimentales, y un tercer campo, el de los procesos e instrumentos de medición, para que la teoría no sea un lenguaje desprovisto de sentido, un puro juego de formas, de símbolos que representan una parte de la realidad, se debe de traducir este lenguaje propio de la teoría a la experiencia. (Duhem 1914/1954, P. 144).

Es intención general de este trabajo de investigación mostrar la experimentación no solo como una fuente de conocimiento, sino como una forma de razonamiento mismo conceptualmente comparable a la teorización.

Un ejemplo de tal consideración característica de estas nuevas formas de considerar el papel del experimento lo constituye lo que hoy en día se conoce como teoría electromagnética bajo una perspectiva de campos. De ahí que se asuma relevante empezar a abordar la organización de los fenómenos electromagnéticos apoyados en los protagonistas del surgimiento de esta nueva perspectiva como es el caso de J. C. Maxwell *A treatise on electricity and magnetism*. En este, se puede percibir la actividad experimental como inherente a las construcciones conceptuales. En particular, esta necesidad de correspondencia entre las construcciones conceptuales y la experiencia, se percibe a través de la configuración y medición de magnitudes fundamentales de tal clase de fenómeno.

Lo que se va a mostrar ahora es cómo un análisis del trabajo de Maxwell, contribuye en la comprensión de aspectos relevantes sobre la actividad experimental, a la vez que se constituye en una fuente para posibles diseños didácticos para su enseñanza. Si bien en este tratado se pueden resaltar varios aspectos frente a la construcción del conocimiento, se hará énfasis en aquellos

relacionados con la actividad experimental en especial la contribución de esta en la ampliación de las bases fenomenológicas, y el papel de los instrumentos y procesos de medición como un campo entre la experiencia y las construcciones conceptuales. El análisis de estos aspectos resalta no solo, el rol social y cultural de la actividad experimental en cuanto es un asunto de consensos, sino también, la importancia de la actividad experimental en la construcción de la idea de interacción eléctrica.

La actividad experimental en la ampliación de las bases fenomenológicas.

El tratado de Maxwell sobre electricidad y magnetismo comienza por presentar una serie de experimentos que, como él mismo lo menciona, tienen la intencionalidad de describir lo más importante del fenómeno: la construcción de magnitudes físicas a través de las cuales se representa. En este texto se presenta el esfuerzo por establecer referentes fenomenológicos a partir de los cuales se puede dar sentido a los términos utilizados en la construcción conceptual y teórica que presenta en su tratado.

Tal conjunto de experimentos y reflexiones pueden entenderse no solo como la base fenomenológica que le da sentido a la teoría. En ellos puede evidenciarse igualmente características propias de la construcción del conocimiento, en el sentido que al contrario de lo que usualmente se piensa, los fenómenos físicos o de cualquier otra clase, no existen independiente del sujeto que los conoce y comprende. Lo que se denomina fenómeno, no es algo que está fuera del sujeto listo para ser teorizado (Mach, 1948), éste es construido por el sujeto. El experimento I por ejemplo, está orientado a diferenciar el fenómeno eléctrico de otros fenómenos y a asociar cuándo los efectos de atracción y de repulsión son debidos al fenómeno eléctrico.

Experimento I. Friccione un trozo de vidrio y un trozo de resina, ninguno de los cuales exhibe ninguna propiedad eléctrica, y déjelos con las superficies rozadas en contacto. Ellos aún no exhibirán ninguna propiedad eléctrica. Ahora al separarlos se atraerán uno hacia el otro. Si un segundo trozo de vidrio es friccionado con un segundo trozo de resina y si dejamos los pedazos separados y suspendidos en la vecindad de los pedazos anteriores, se puede observar:

1) Que los dos pedazos de vidrio se repelen entre sí. 2) Que cada pedazo de vidrio atrae cada pedazo de resina. 3) Que los dos pedazos de resina se repelen entre sí.

Estos fenómenos de repulsión y atracción se llaman fenómenos eléctricos y los cuerpos que los exhiben se dicen electrificados o cargados de electricidad. (Maxwell, 1954).

A través de los experimentos sobre la electrificación por inducción, conducción, conductores y aislantes, no solo se presentan las formas de electrificación, o el

comportamiento de los materiales en el fenómeno eléctrico, sino que además se construye el fenómeno en sí, es decir, para que el fenómeno sea posible debe ser analizado y por tanto es necesario consensuar qué se quiere observar y así tener un esquema para organizar los datos sensibles.

En particular, en este conjunto de experiencia se pueden resaltar algunos aspectos fundamentales de la organización del fenómeno eléctrico.

- Hay una orientación frente a qué es lo relevante de esta experiencia que posibilita la identificación del fenómeno eléctrico, al establecer algunos criterios para definir cuándo un cuerpo está electrificado.
- la electrificación por inducción, difiere de la que usualmente se presenta en los libros de texto. En estos últimos, consiste más en un procedimiento para mantener la electrificación en un cuerpo.
- Obsérvese que el hecho de que la electrificación de un recipiente metálico con las condiciones establecidas no exhiba cambios en su exterior debidos al cambio de posición del cuerpo electrificado en su interior, es un resultado netamente experimental, cualquier representación que se realice debe corresponder a dicho comportamiento de los conductores (Refiérase al capítulo disciplinar).
- En las formas de electrificar un cuerpo se hace especial referencia a los materiales conductores, dándole cierta relevancia a estos en la organización de los fenómenos eléctricos.
- Si bien existen varias formas de electrificar un cuerpo, se muestra el fenómeno de la electrificación independiente de las causas bajo las cuales se electrifican los cuerpos.

Como se mencionó anteriormente, un aspecto a resaltar es la electrificación por inducción. De forma usual la forma en que estos libros de texto se presentan, no contribuye a entender la interacción eléctrica. Por ejemplo, cuando se realiza la experiencia cotidiana de frotar un polipropileno, y luego acercarlo a pequeños trozos de materiales en los cuales se observa que son atraídos, el análisis usualmente se concentra en aspectos, donde se resalta que un cuerpo es el que ejerce la acción de la atracción y por tanto el otro es el atraído; en esta interacción un cuerpo es el electrificado y el otro se encuentra inicialmente neutro.

En contraste, la idea de interacción eléctrica no privilegia la acción atractiva a un solo cuerpo, y lo más importante la interacción eléctrica solo es posible pensarse entre cuerpos electrificados, similarmente a como ocurre con otro tipo de interacciones tales como la gravitacional o la térmica. Tal y como lo presenta Maxwell en los experimentos II y III, Maxwell (1873) ilustra los elementos necesarios por los cuales la acción inductiva es de la misma clase de la conducción

o la frotación. En este sentido y retomando el ejemplo de los pequeños trozos de materiales, se debe considerar que estos fragmentos son electrificados antes de interactuar con el polipropileno.

Para este efecto podría analizarse una experiencia que propende por aportar elementos respecto de esta situación. Dispóngase de un indicador eléctrico (puede ser el indicador de papel) y un dispositivo como el mostrado en el sistema A (Remítase a la guía Número 3).

En la figura número 1, se trata de un sistema conductor compuesto por dos esferas y una división que no permite ver lo que sucede al otro lado del sistema.

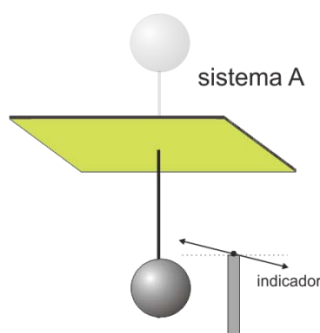


Figura 1. Sistema conductor para la comparación entre la electrificación por inducción y contacto

En un lado del sistema hay un indicador eléctrico que sirve para determinar si el sistema esta electrificado.

Del otro lado el sistema se electrificará, inicialmente por un método de (contacto).

El indicador muestra que el sistema esta electrificado. Sin embargo si inicialmente no se tiene contacto, sino que se acerca lo suficiente, el indicador también registra que el sistema “A” esta electrificado. De esta manera un espectador del lado donde se encuentra el indicador no puede diferenciar si el sistema “A” se electrificó por contacto o por inducción.

Así, en los efectos de la electrificación por inducción no se diferencian de aquellos de una electrificación por contacto; esto no solo pone en evidencia de que se trata del mismo fenómeno, sino que también independiza al fenómeno de la causa que permiten electrificar un sistema.

En síntesis, este conjunto de experiencias y razonamientos presentan los aspectos sobre los cuales se centra el análisis, y establecen los criterios que permiten relacionar otras experiencias al mismo fenómeno. Desde esta forma de

proceder, la actividad experimental se hace inherente a la construcción misma del fenómeno y su comprensión conceptual.

Los instrumentos y procesos de medición.

Como bien lo plantea Duhem (1954), el instrumento y procesos de medida constituye un campo entre las construcciones conceptuales y la experiencia, y estas tres dimensiones conforman una dinámica tal que una gira en torno a la otra.

Se presentan en particular, algunas fases de tal campo en lo que tiene que ver con la construcción del potencial eléctrico.

Este campo, se puede evidenciar inicialmente en la organización primaria del fenómeno eléctrico, pues si bien hay un consenso respecto a la electrificación de los cuerpos, éste no se limita a los efectos de la atracción o repulsión: todo un proceso para que estos efectos puedan ser asociada a los fenómenos eléctricos.

En el experimento I, Maxwell asocia fenómeno con el comportamiento de materiales diferentes cuando son puestos en interacción (a través de la fricción) véase en extenso el experimento propuesto por el:

Experimento I. Friccione un trozo de vidrio y un trozo de resina, ninguno de los cuales exhibe ninguna propiedad eléctrica, y déjelos con las superficies rozadas en contacto. Ellos aún no exhibirán ninguna propiedad eléctrica. Ahora al separarlos se atraerán uno hacia el otro. Si un segundo trozo de vidrio es friccionado con un segundo trozo de resina y si dejamos los pedazos separados y suspendidos en la vecindad de los pedazos anteriores, se puede observar:

1) Que los dos pedazos de vidrio se repelen entre sí. 2) Que cada pedazo de vidrio atrae cada pedazo de resina. 3) Que los dos pedazos de resina se repelen entre sí.

Estos fenómenos de repulsión y atracción se llaman fenómenos eléctricos y los cuerpos que los exhiben se dicen electrificados o cargados de electricidad. Los cuerpos pueden ser electrificados de muchas otras maneras, no sólo por fricción.

Las propiedades eléctricas de los dos pedazos de vidrio son similares entre sí pero opuestas a aquéllas de los dos trozos de resina: el vidrio atrae lo que la resina repele y repele lo que la resina atrae. Si un cuerpo electrificado de cualquier manera que sea se comporta como el vidrio lo hace, es decir si repele el vidrio y atrae la resina, el cuerpo se dice vítreamente electrificado; y si atrae el vidrio y repele la resina se dice resinosa electrificado. Todos los cuerpos electrificados son electrificados vítrea o resinosa. Es la práctica establecida de los hombres de ciencia llamar a la electrificación vítrea positiva y a la resinosa negativa. Las propiedades exactamente opuestas de las dos clases de electrificación nos justifica el indicarlas con signos opuestos, pero la aplicación del signo (+) a una clase más que a la otra debe ser considerada como un asunto de convención arbitraria, de la misma manera que es una convención en los diagramas matemáticos designar las distancias positivas

hacia la mano derecha. Ninguna fuerza, ya sea de atracción o de repulsión, se puede observar entre un cuerpo electrificado y uno no electrificado. Cuando en cualquier caso cuerpos que no estaban electrificados previamente, se comportan como un cuerpo electrificado es debido a que se han electrificado por inducción. (Maxwell ,1954. Primera edición).

En este fragmento se ponen en evidencia varios aspectos relacionados con la actividad experimental, pero se quiere resaltar en particular, el hecho que no es la atracción o repulsión lo que determina las primeras indicaciones del fenómeno eléctrico, sino, principalmente el proceso asociado a tales efectos, es decir, el proceso vinculado a la exploración del comportamiento de los materiales, exploración ligada a su vez a una mirada que privilegia la identificación de patrones de comportamiento y el establecimiento de relaciones.

Al respecto, la perspectiva fenomenológica no se centra en el estudio de las causas que provocan los efectos, sino en el estudio de las propiedades y el comportamiento mismo de los materiales, es decir, cuando se habla del fenómeno se está refiriendo a las descripciones de los comportamientos, propiedades y sus relaciones. Por consiguiente inscribir este trabajo en un enfoque fenomenológico, implica que el interés de los investigadores, está en el estudio de los efectos, más no el de las causas que lo generan, sin desconocer que desde otros enfoques resulte interesante el estudio de estas últimas.

Paralelamente, para extender los efectos identificados a otras acciones, es necesario establecer relaciones entre la nueva acción y la anterior que permita establecer que se trata del mismo efecto. Tal establecimiento de relaciones, se hace a través del reconocimiento del comportamiento entre clases de materiales (como el vidrio y la resina por ejemplo) y su respectivo proceso para clasificar la electrificación de los cuerpos (Véase experimento I de maxwell para clasificar cuerpos electrificados resinosamente o vítreamente). El poder disponer de instrumentos que permitan detectar los efectos percibidos e indispensables para adelantar una organización del fenómeno identificado, pues nuestros sentidos no nos sirven para hacer tal organización.

Es difícil, afirmar que una determinada configuración de materiales se constituye en un tal instrumento, pues estos adquieren tal connotación a la luz de los procesos que se le asocian a él. En efecto, y como ya se mencionó, en el fenómeno eléctrico este aspecto cobra especial sentido, pues dado que el organismo no posee un sentido que tenga la suficiente sensibilidad para detectar cuerpos electrificados, un instrumento debe posibilitar tanto la mejoría en la interacción con experiencias de carácter electrostático, como avanzar en la organización del mismo. Por ejemplo un indicador construido con cartulina colbón y un alfiler, conforman un conjunto de materiales que con la configuración propuesta pueden formar un indicador eléctrico, tal y como se muestra en la figura 2. Sin embargo este solo tiene sentido si al giro del indicador se puede asociar a un efecto resultado de la interacción con un sistema electrificado. Por simple que

sea todo instrumento requiere de una carga conceptual que le da sentido al mismo.

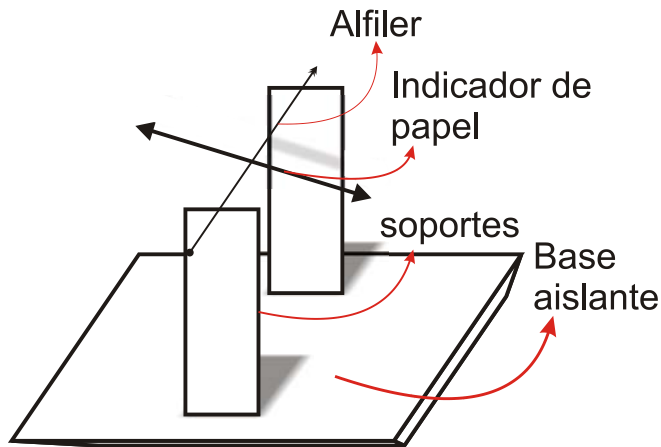


Figura 2. Indicador construido con cartulina colbón y un alfiler

El instrumento es entonces el resultado de una concreción, de un refinamiento de la experiencia que facilita y mejora la exploración de los fenómenos eléctricos, allí que pueda existir variedad de indicadores que permitan nuevos acercamientos a la experiencia. Vale la pena resaltar en este punto que en el ámbito de la enseñanza cuando se logra involucrar al estudiante en la construcción de estos instrumentos, se suscitan reflexiones en torno a lo que hay tras de la construcción de un instrumento, resultando de un gran interés pedagógico analizar las propuestas que ellos hacen. Por ejemplo, para caso en particular de indicadores eléctricos, se presentan algunas fotografías que muestran algunos modelos de tales indicadores diseñados por los estudiantes.



Figura 3. Fotografías de experiencias sobre indicadores eléctricos

Los más útiles para los propósitos propuestos resultaron ser este indicador de papel y los electroscopios simples, dado que son relativamente fáciles de construir, lo suficientemente sensibles y sencillos de manipular.

La figura Número 4 ilustra un electroscopio simple, y un indicador de papel como se describió anteriormente. Es necesario mencionar en este punto que en la construcción de tales instrumentos hay muchos factores de orden técnico que se resuelven utilizando otros conocimientos. Por ejemplo, para el caso del indicador de cartulina, es preciso tener en cuenta que el efecto eléctrico es relativamente débil y por tanto, aspectos como: el nivel de las columnas, la fricción, el centro de masa, entre otros son de alta relevancia en la construcción del mismo, no obstante, todo esto sigue siendo insuficiente si previamente no se tiene la suficiente claridad para asociar el movimiento del indicador al fenómeno eléctrico.

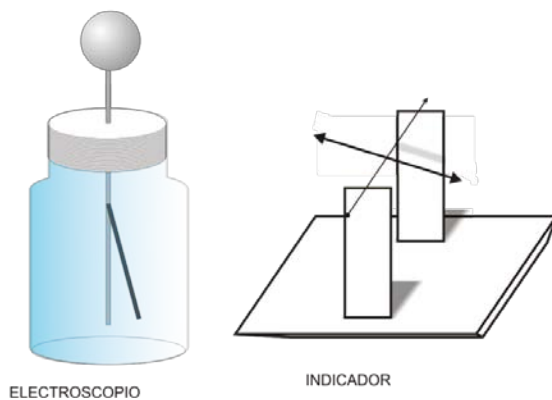


Figura 4. Electroscopio simple, y un indicador de papel

Los consensos: una de las dimensiones sociales del conocimiento

Disponer de tales instrumentos como el electroscopio simple y el indicador de papel, posibilita una primera organización de estos fenómenos, pese a lo simples que son y sus posibles limitaciones, tales como el hecho que, ambos solo pueden indicar cuando un cuerpo se encuentra electrificado, y no el tipo de electrificación. Esta organización puede mostrar cómo el instrumento y sus procesos posibilitan ver con otros ojos las experiencias eléctricas, a la vez que posibilita resaltar el rol social en la construcción del conocimiento.

El caso de la cantidad de electrificación constituye un buen ejemplo al respecto. Se dispone de una organización del fenómeno eléctrico en la cual hay por lo menos un conocimiento de los conductores cerrados. Maxwell (1948) en el experimento V establece un procedimiento para indicar que la electrificación en el exterior de un recipiente conductor cerrado es resultado de las cantidades de electrificación en su interior, independientemente de la posición y forma de los elementos electrificados en su interior.

...Experimento V: En el experimento II se mostró que si un trozo de vidrio electrificado por rozamiento con resina es introducido en un recipiente metálico la electrificación observada en el exterior no depende de la posición del vidrio. Si ahora introducimos el pedazo de resina con el cual el vidrio fue frotado, sin tocar ni el vidrio ni el recipiente, se encontrará que no hay electrificación fuera del recipiente. De esto concluimos que la electrificación de la resina es exactamente igual y opuesta a la del vidrio. Introduciendo cualquier número de cuerpos electrificados de cualquier manera, se puede mostrar que la electrificación del recipiente es la debida a la suma algebraica de todas las electrificaciones, reconociendo como negativas a las resinosas. Tenemos así un método práctico de agregar los efectos eléctricos de varios cuerpos sin alterar su electrificación (Maxwell, 1948).

Dicho procedimiento constituye un conjunto de criterios a los que debido a la organización previamente construida, fácilmente se puede llegar a un consenso

por parte de los estudiantes, necesario para “construir” conceptualmente el significado de cantidad de electrificación, es decir, este procedimiento determina unas características que junto con los recipientes metálicos posibilitan ver esta cantidad.

El refinamiento de tal proceso desemboca en un instrumento que además de hacer plausible la cantidad de electrificación, permite asociar o más puntualmente establecer un isomorfismo con alguna estructura numérica.

A continuación se analizan algunos aspectos que ejemplifican los procesos y consensos mencionados. Uno de estos aspectos lo constituye la posibilidad misma de determinar y reproducir una unidad patrón. Los pocos libros de texto que abordan el problema, lo resuelven en forma teórica, considerando que si dos cuerpos son expuestos a las mismas situaciones no hay razones para pensar que se encuentran en estados diferentes (ver por ejemplo Guerra, 1985). Pero ¿Cómo lograr por ejemplo, frotar dos cuerpos (esperas por ejemplo) de la misma forma para que queden igualmente electrificados? Maxwell plantea al respecto un procedimiento un poco más detallado que garantiza por lo menos de forma teórica tal unidad patrón.

Experimento VI: Sea un segundo recipiente metálico aislado, B y sean el trozo de vidrio electrificado puesto en el interior del primer recipiente, A, y el trozo de resina electrificado en el recipiente B. Póngase los dos recipientes en contacto mediante el alambre metálico como en el experimento III. Todos los signos de electrificación desaparecerán.

Luego retire el alambre y saque los trozos de vidrio y resina de los recipientes sin tocarlos. Se encontrará que A está electrificado resinosamente y B vítreamente.

Si ahora el vidrio y el recipiente A se introducen juntos en el recipiente metálico C, más grande y aislado, se encontrará que no hay electrificación fuera de C. Esto muestra que la electrificación de A es exactamente igual y opuesta a la del trozo de vidrio, y la de B se puede mostrar de la misma manera que es igual y opuesta a la del trozo de resina.

Así hemos obtenido un método para cargar un recipiente con una cantidad de electricidad exactamente igual y opuesta a la de un cuerpo electrificado sin alterar la electrificación de este último y de esta manera podemos cargar cualquier número de recipientes con exactamente iguales cantidades de electricidad de cualquier clase que podemos tomar como unidades provisionales. (Maxwell, 1948).

Obsérvese que no solo es un procedimiento teórico en la medida que, este se fundamenta en ciertas correspondencias con la experiencia; de hecho de nada serviría esa determinación teórica de una unidad de cantidad de electrificación si no se puede establecer tal correspondencia a través de un instrumento. Este aspecto también sirve para ilustrar el planteamiento propuesto por Mach respecto

a que a través de solo razonamientos, no se pueden completar ciertos procesos, es necesario pasar a la experiencia física y esto solo se puede hacer a través de un instrumento.

Otro de los aspectos a resaltar son los consensos en la construcción, tanto del conocimiento científico como en la construcción del conocimiento escolar, en la medida que estos le dan un sentido colectivo (social) a la construcción del conocimiento. Parte del problema en el aula es asegurar que algún grupo de sensaciones (realmente estables) sean compartidas por algún grupo de individuos, es decir, garantizar que un grupo de personas frente a una situación determinada en este caso relacionados con los fenómenos eléctricos, deben de alguna forma ponerse de acuerdo en ciertos consensos de lo que vamos a percibir de ciertas cosas y no otras (Mach 1948).

Por ejemplo, el problema de obtener una unidad patrón, no es un asunto de aplicar un instrumento a un sistema para obtener alguna medida, sino que es entender un procedimiento, que a su vez implica generar el ambiente (grupal) para comprender lo que se está haciendo, y por tanto llegar a un consenso.

Además, este tipo de procesos no solo amplia, las bases fenomenológicas referidas al fenómeno eléctrico, sino también, es crucial en la mayoría de instrumentos que se proponen para la cuantificación de la cantidad de electrificación o carga eléctrica. Puntualmente, analícese el siguiente electroscopio. Ver figura Número 5. En este, la deflexión de las láminas corresponde a la cantidad de electrificación neta al interior de la caja metálica.

Para entender tal atribución, no es suficiente con el electroscopio en sí, se requiere de un conjunto de experiencias, procedimientos y conceptualizaciones que están de base. Por ejemplo, conocer que los conductores cerrados dividen el espacio en dos regiones, implica que tanto la cantidad de electrificación que esta al interior de la caja, como las laminas del electroscopio no van a ser afectadas por cuerpos electrificados que se encuentren en el exterior del recipiente. O que lo que marca el indicador del electroscopio corresponde al resultado algebraico de la carga neta contenida en el recipiente, debido a que en los recipientes conductores cerrados se puede considerar su electrificación como el resultado de la suma algebraica de la cantidad neta de electrificación en su interior.

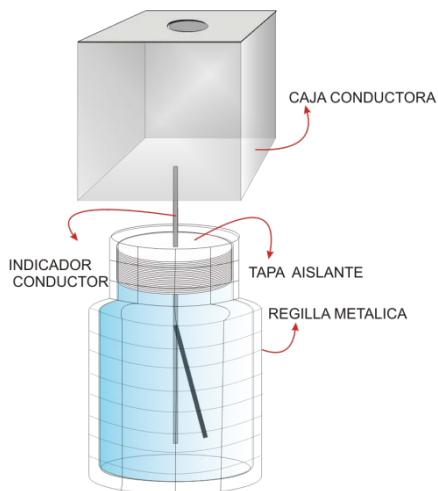


Figura 5. Electroscopio propuesto por M. Guerra

En este sentido, ampliar el conjunto de experiencias y conceptualizaciones ha posibilitado las modificaciones en el instrumento, y a su vez, permitirá separar y organizar la cantidad de electrificación en el fenómeno eléctrico, ampliando nuevamente nuestras experiencias y la conceptualización que se deriva de ellas.

Por otro lado, el instrumento también juega un papel importante a la hora de analizar que tan buenas son las representaciones que se hacen del mundo, en el sentido, de que uno de los criterios para determinar qué tan buena es una representación es el grado de correspondencia con las relaciones percibidas en la experiencia, y esto sucede a través del instrumento.

En síntesis, en cuanto a la conceptualización, instrumento y procesos, y experiencia, cada uno presupone de algún modo los otros dos, por lo que sería impensable pensar en una separación de tan siquiera uno de estos tres elementos. Esto, en el sentido de poder desestructurar sus elementos de manera jerárquica. En otras palabras se entiende la actividad experimental como una dialéctica cíclica desarrollada entre estos tres componentes, los cuales siempre se corresponden de algún modo, pero también siempre de manera problemática.

A modo de conclusión

A medida que se avanza en organización y formalización del fenómeno la relación entre la actividad experimental, el instrumento y los procesos de medida y las construcciones conceptuales se hace más fuerte, es decir, en la construcción del fenómeno se puede evidenciar lo fuerte de esta relación, pero si se sigue avanzando en el sentido que lo propone Maxwell, en el prefacio de su tratado de

electricidad y magnetismo: describir lo más importante del fenómeno eléctrico, mostrar como ellos son susceptibles de medida, y trazar las conexiones matemáticas de las cantidades medidas, es decir, cuando se avanza en los procesos que hacen a una cualidad ser susceptible de medición esta relación se hace más fuerte.

Estos aspectos y relaciones son, en la enseñanza de las ciencias, un caso problemático, tal y como lo afirma Romero y Rodríguez (2005). Usualmente, el proceso de medición se reduce a la mera aplicación de un instrumento preestablecido sobre un cuerpo o sistema, y a la lectura del valor numérico obtenido en la escala del instrumento. Este valor se asume entonces, como el resultado de la medida y representa el valor que toma tal propiedad. Ello genera una clara separación entre la teoría y el experimento, al considerar que en la construcción conceptual el aspecto experimental no interviene y que, de igual forma, para la realización de un experimento, la perspectiva teórica no influye, pues de lo que se trata es de tomar datos; si existe una relación entre teoría y experiencia, ésta se reduce al cotejo de los resultados obtenidos y los esperados vía el análisis estadístico y la teoría de errores. (Romero y Rodríguez, 2005)

De ahí que parte del propósito de este trabajo y su pretensión por propiciar y poner en práctica una visión de la actividad experimental en estrecha relación con el instrumento y las construcciones conceptuales a través del estudio del caso de la medición del potencial eléctrico sobre la superficie de un conductor.

CAPITULO II

2. EL CASO DE LA MEDICIÓN DEL POTENCIAL ELÉCTRICO SOBRE LA SUPERFICIE DE UN CONDUCTOR: LOS INSTRUMENTOS Y PROCESOS DE MEDICIÓN, COMO UN CAMPO ENTRE LA TEORÍA Y LA EXPERIENCIA

Los análisis histórico - epistemológicos de las fuentes primarias² permiten elaborar y poner de relieve concepciones de mundo, formas de abordar, problemas centrales y sistemas conceptuales en torno a los fenómenos físicos, constituyéndose en un excelente pilar para los procesos de re contextualización de saberes³. Complementariamente conforman una fuente de fundamentación conceptual y metodológica para el diseño e implementación de posibles estructuraciones de las temáticas a enseñar, las cuales respondan a las condiciones cognitivas de los estudiantes.

En este sentido en este capítulo se presenta un análisis de los experimentos propuestos por Maxwell al inicio del capítulo I, de su tratado de Electricidad y Magnetismo (Maxwell 1958). A través de esta exploración se propiciarán reflexiones de orden disciplinar que ayudarán a comprender el fenómeno eléctrico y la construcción de la carga eléctrica como una magnitud física; aspectos que como el propio Maxwell sostiene, son el sustento y lo que le da el sentido a las representaciones que de este fenómeno se desprenden. Esta comprensión y reconstrucción conceptual será a su vez, el fundamento para diseñar implementaciones didácticas en la enseñanza de los fenómenos eléctricos.

Seguidamente, y con el objetivo de avanzar en la organización del fenómeno eléctrico, se configura un análisis, de los sistemas electrificados, por estados y transformaciones, en los cuales se resalta el análisis del concepto de equilibrio eléctrico y se configura la idea de “Estado eléctrico” de un sistema formado por conductores. A partir de este análisis, se posibilita una propuesta en la construcción y cuantificación del potencial eléctrico como una magnitud física que da cuenta del estado de electrificación de la superficie de un conductor electrificado. En esta última fase se resaltan las reflexiones respecto a los instrumentos y procesos a través de los cuales se medía el potencial eléctrico en la época (conocidos como electrómetros)

² Algunas veces también llamados textos originales

³ Se asume aquí el término recontextualización según el significado que Berstein, B. (1985) le diere, ver también a este respecto Ayala(2008), Romero & Rodríguez(2005). Hacia una teoría del discurso pedagógico. En Revista Colombiana de Educación, CIUP, 1985,pp. 105-152.

Bases fenomenológicas respecto a la construcción del fenómeno eléctrico

Es normal que algunas experiencias relacionadas con la física sean perceptibles con los sentidos, y se cuente con todo un conjunto de experiencias y formas particulares de organizarlas funcionalmente en tanto que hay una correspondencia entre las predicciones y lo que podría llamarse “el modo de ser” de los sistemas físicos en consideración (su fenomenología). Por ejemplo, en un viaje, se sabe que entre más largo sea el recorrido más tiempo se requiere para el viaje, o si se aumenta la rapidez de un vehículo se reduce el tiempo de llegada.

En el caso de los fenómenos térmicos, los sentidos han permitido tanto recoger experiencias en torno a este fenómeno como organizarlas de cierta manera para que sean funcionales en la vida cotidiana. Por ejemplo, se tienen percepciones de frío y caliente y además, se puede determinar que si se quiere calentar una cantidad mayor de agua, se requiere más gas o más exposición a la parrilla. Del mismo modo, aunque no se utilice un lenguaje apropiado, a partir de la experiencia tomada en esta investigación como relevante en términos de bases empíricas, se puede empezar a establecer una diferencia entre los conceptos de calor y temperatura. Por ejemplo, se sabe que toda el agua contenida en un recipiente esta igual temperatura digamos 90°C , pero su variación en grado de calor difiere si se pone en contacto con una gota de agua hirviendo o con una cantidad considerable de la misma (Romero et al, 2003).

Sin embargo, en el caso de los fenómenos eléctricos, en particular en la electrostática, normalmente no se tiene un conjunto de experiencias ordenadas coherentemente que sean funcionales para la cotidianidad. A lo sumo se cuenta con pequeñas anécdotas accidentales en las cuales se perciben algunos efectos electrostáticos. Podría afirmarse incluso que las experiencias son más amplias en el caso de la electrodinámica, por relacionarse con las corrientes eléctricas.

Teniendo en cuenta esto, desde una perspectiva fenomenológica, una propuesta en la enseñanza de la electrostática debería comenzar por ampliar y organizar las experiencias relacionadas con la electrostática e ir progresando en los grados de ordenación e identificación de cualidades y procesos de medición de las mismas.

A continuación se presentan algunas reflexiones de orden disciplinar adelantadas con una intencionalidad educativa en la enseñanza de la electrostática. A través de estas reflexiones, se hace especial énfasis en los procesos de medición de la cantidad de electrificación y el potencial eléctrico.

Normalmente en los textos guía de bachillerato y de cursos introductorios de física a nivel universitario, en el capítulo correspondiente a electricidad, se presentan o proponen experiencias que consisten básicamente en observar que cuerpos

frotados atraen cuerpos lo suficientemente pequeños. Tal es el caso por ejemplo del peine, que luego de cepillar el cabello, puede atraer pequeños trozos de papel o la bomba de plástico que al estar inflada y al frotarse contra el cabello se queda pegada a la pared. Posteriormente se hace un salto y se comienza a presentar una serie de conceptos y proposiciones (leyes) ya formalizados.

Detenerse un poco en esta actividad y realizar una exploración más profunda permite reflexionar sobre las bondades en el desarrollo del pensamiento físico que se pueden potencializar desde un enfoque fenomenológico.

En primera instancia se puede hacer notar que al frotar materiales entre sí, se pueden evidenciar algunos efectos, en particular la atracción entre cuerpos, que no son atribuibles a otros fenómenos como los térmicos o los mecánicos. Este tipo de efecto corresponde a un fenómeno particular que por convención se puede denominar “electrificación”.

Complementariamente, a diferencia de otros fenómenos, se debe reconocer que el ser humano no está dotado sensorialmente para la detección de efectos eléctricos, como sí sucede por ejemplo, en el caso de los fenómenos térmicos. Para detectar estos efectos eléctricos es necesario valerse de algunos instrumentos, asumidos inicialmente como indicadores, que brinde la posibilidad de extender nuestros sentidos y detectar efectos como el de la atracción, asociados a cuerpos electrificados. Tal instrumento permitirá, hacer una primera organización de este fenómeno.

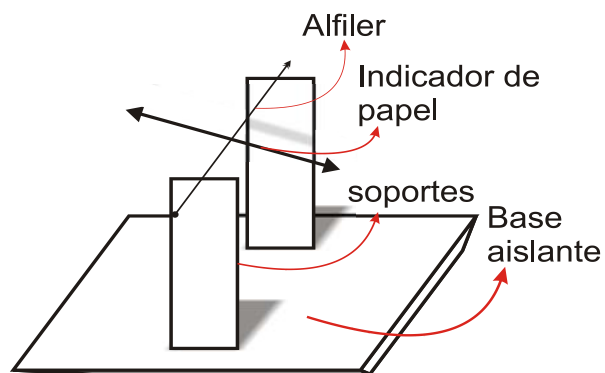


Figura 6. Indicador eléctrico

La utilidad y funcionabilidad del indicador propuesto obedece a criterios observados durante una primera exploración del comportamiento de ciertos materiales: un ejemplo de este tipo de indicadores llamados por algunos como *versorium*, consiste en un papel muy pequeño con forma de flecha atravesada en su centro de masa por un alfiler, que a su vez está montado sobre el filo de dos columnas de papel, con el fin de disminuir el área de contacto entre estas y el

alfiler, y, de esta manera, disminuir la resistencia, haciéndolo más sensible (característica indispensable en este tipo de indicadores) ver figura 6.

Disponiendo ahora de un indicador más completo como un electroscopio en la medida que además de indicar cuando un sistema se encuentra electrificado, también permite observar si el aparato mismo se encuentra electrificado, a partir de este es posible adelantar una exploración en diferentes materiales, no solo, para diferenciar cuales materiales permiten aislar y cuales conducen⁴, sino también, que en esta exploración se tendrán en cuenta cuáles de ellos exhiben signos de electrificación y qué condiciones son necesarias para lograr electrificar un cuerpo.

1. De esta experiencia se puede resaltar en primer lugar la importancia que tienen los materiales, pues es condición esencial si lo que se desea es electrificar un cuerpo por frotación. En este sentido, se resalta que la electrificación por fricción es producto del contacto entre materiales diferentes, es decir, lo relevante no es en si la frotación entre cuerpos, sino lo que se busca es un buen contacto entre materiales distintos, de allí que sean empleados los ácidos en la construcción de baterías, con el fin de buscar un mejor contacto entre los electrodos de la misma.
2. Algunos factores como la temperatura o la humedad del medio en el cual se realiza la experiencia, influyen notoriamente en la electrificación de los cuerpos. Ejemplo de ello son las circunstancias vividas durante la implementación en la que los factores climáticos fueron determinantes a la hora de ejecutar varias de las experiencias.
3. Por último, no se puede desconocer la existencia del efecto de repulsión, sin embargo, con el indicador sólo se pone de manifiesto el efecto de atracción.

A través del uso del indicador sugerido, se pueden evidenciar otros aspectos referentes a la electrificación tales como: 1) contrario a lo que se asume normalmente, al frotar dos cuerpos, ambos exhiben signos de electrificación; 2) al permanecer unidos luego de haber frotado dos cuerpos, estos no exhiben signos de electrificación; 3) al separar los cuerpos, cada uno de ellos exhibe signos de electrificación. Estos tres aspectos mencionados, permiten pensar en dos tipos de electrificación opuestas que se anulan.

Aunque no es intención de esta investigación desarrollar los aspectos relacionados con la identificación de dos tipos de electrificación, se puede resaltar

⁴ Aspecto fundamental en experiencias con electrostática, pues, la condición de ser conductor o aislante no solo es definida por el material, sino también, por las condiciones a las que estos son sometidos, de esta manera lo que usualmente se considera aislante en la electrodinámica como por ejemplo la madera, pero está en condiciones electrostáticas se comporta como conductora. Ver a este respecto TORRES, ANDRE (2010)

que el tipo de electrificación no está asociada al material, en el sentido que, hay cuerpos (materiales) que al ser frotados pueden presentar dos tipos diferentes de electrificación, dependiendo del material con el que es frotado. Del mismo modo, pensar en un tipo de electrificación, obedece a una comparación del comportamiento de los cuerpos con referencia al comportamiento de algunos que ya se conocen, es decir, puede decirse que un cuerpo presenta un estado de electrificación vítreo o resinoso (positivo o negativo respectivamente), si se comporta como los materiales vítreos o resinosos. Tal y como lo expone Maxwell (1873) en su tratado de electricidad y magnetismo.

“Las propiedades eléctricas de los dos pedazos de vidrio son similares entre sí pero opuestas a aquéllas de los dos trozos de resina: el vidrio atrae lo que la resina repele y repele lo que la resina atrae. Si un cuerpo electrificado de cualquier manera que sea se comporta como el vidrio lo hace, es decir si repele el vidrio y atrae la resina, el cuerpo se dice vítreamente electrificado; y si atrae el vidrio y repele la resina se dice resinosamente electrificado”

La electrificación de los cuerpos

Se observa que un cuerpo luego de ser frotado con otro adquiere ciertas propiedades eléctricas como la de atraer cuerpos muy livianos, en este sentido, se piensa en una forma de electrificar cuerpos por frotamiento o fricción. De otro lado, un cuerpo electrificado en cercanías de otro cuerpo, para nuestro análisis metálico, modifica en este último su estado de electrificación. En particular, podría pensarse, en la siguiente situación: considere el sistema A, formado por un conductor y una lámina aislante lo suficientemente grande como para impedir la visibilidad desde la parte inferior a la superior o viceversa, además de aislar la parte inferior del sistema de los efectos eléctricos de la parte superior. Ver figura Número 7.

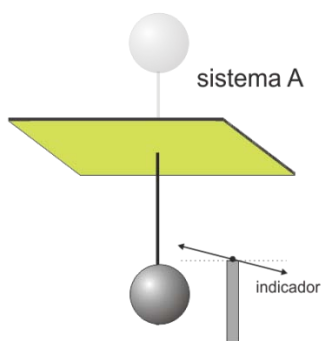


Figura 7. Sistema de los efectos eléctricos

Al acercar un cuerpo electrificado a la parte superior del sistema “A”, lo suficiente pero sin llegar al contacto, se encuentra que el sistema en la parte inferior exhibe

signos de electrificación, tal cual lo evidencia el indicador dispuesto allí. De igual manera se obtiene el mismo resultado en el caso de que el cuerpo electrificado se hubiera acercado hasta establecer contacto con la parte superior del sistema “A”.

De esta manera, y visto desde la parte inferior del sistema, no existe la posibilidad de determinar si los signos de electrificación que exhibe el sistema en la parte inferior son debido a la aproximación o al contacto del cuerpo electrificado con la parte superior del sistema. Se afirma, por ende, que el cuerpo ha sido electrificado. Concluyéndose que un cuerpo electrificado en cercanías de otro, induce sobre este último un estado de electrificación a lo cual se denomina “electrificación por inducción”.

La electrificación por conducción es otra de las formas de electrificar un cuerpo. Para comprender un poco esta forma de electrificación se puede citar el experimento II que emplea Maxwell (1873) en su tratado:

“Sea el recipiente metálico electrificado por inducción como en el último experimento y un segundo cuerpo metálico suspendido por hilos de seda cerca del mismo; sea un alambre metálico similarmente suspendido, traído de tal manera que toque simultáneamente el recipiente electrificado y el segundo cuerpo. Se encontrará ahora que el segundo cuerpo está electrificado vítreamente y que la electrificación vítrea del recipiente ha disminuido.

La condición eléctrica ha sido transferida desde el recipiente al segundo cuerpo por medio del alambre. Se dice que el alambre es un conductor de electricidad y que el segundo cuerpo ha sido electrificado por conducción.

De la anterior cita es importante resaltar el hecho que la electrificación de un cuerpo se da en la interacción entre dos cuerpos o sistemas y no debido a uno solo. Tal situación es claramente apreciable por ejemplo en la electrificación por fricción, cuando interactúan dos cuerpos y de igual manera en la electrificación por inducción en donde la electrificación del sistema “A” fue debida a la interacción con el cuerpo electrificado⁵.

Los conductores en la organización del fenómeno electrostático.

Tradicionalmente en el estudio de la física y particularmente en la electrostática se deja de lado el estudio de los materiales. En esta propuesta de trabajo se rescata el papel de los materiales, en particular de los conductores y cómo estos inciden en la conceptualización de los fenómenos eléctricos.

A la hora de hablar de la taxonomía de los materiales, es claro que algunos de ellos no son de utilidad para pensar en la transferencia de electricidad, por ello, tal

⁵ En la implementación de esta parte del trabajo fue conveniente contar con una forma de magnificar los efectos electrostáticos, y para ello se utilizó un generador de Wimshurst. De igual modo se podrían emplear otros generadores como las llamadas botellas de Leiden, el generador de Van de Graff, o el Electrôforo.

y como lo indica Maxwell, sólo se consideran aquellos clasificados como buenos conductores y buenos aislantes.

“Si un rodillo de vidrio, una varilla de resina o gutapercha, o un hilo de seda blanco se usaran en lugar del alambre metálico, no tendría lugar ninguna transferencia de electricidad. Por lo tanto, estas últimas sustancias se llaman no conductoras de la electricidad. Los no conductores se usan en los experimentos eléctricos para mantener cuerpos electrificados sin que pierdan su electricidad. Entonces dichos materiales son llamados aislantes.

Los metales son buenos conductores; el aire, el vidrio, la resina, la gutapercha, el vulcánico, la parafina, etc., son buenos aislantes; pero, como veremos posteriormente, todas las sustancias resisten el paso de la electricidad y todas le permiten pasar aunque en grados diferentes” (Maxwell, 1873:32).

Un comportamiento reconocido de los conductores cerrados es el hecho que estos dividan el espacio en dos regiones eléctricas independientes, tal y como lo presenta Maxwell en su Tratado de electricidad y magnetismo (1954), particularmente el experimento II sobre la electrificación por inducción se empieza a develar el uso de los recipientes conductores miremos dos apartados de lo que presenta en este experimento.

Tome un recipiente abierto de metal suspendido por hilos de seda blanca y deje un hilo similar atado a la tapa del recipiente, de tal manera que el mismo pueda abrirse o cerrarse sin tocarlo.....se puede demostrar que la electrificación en el exterior del recipiente es exactamente la misma, independiente de la ubicación en espacio interior donde el vidrio está suspendido.

En este último fragmento plantea el hecho (constatable experimentalmente) que un cuerpo con algún estado de electrificación en el interior de un conductor, inducirá un estado de electrificación en el exterior del recipiente que es independiente de la posición en la que se encuentre el cuerpo electrificado en su interior. En este sentido y considerando que el conocimiento de los conductores es de esencial relevancia para esta propuesta tal situación se puede representar como en la figura Número 8. Esta situación se puede reproducir con elementos de fácil consecución en un contexto de aula, siempre y cuando se cuente con las condiciones de humedad adecuadas y un generador electrostático lo suficientemente potente. Además se pueden proponer actividades que induzcan una exploración que apunte a este aspecto que resalta Maxwell de los conductores.

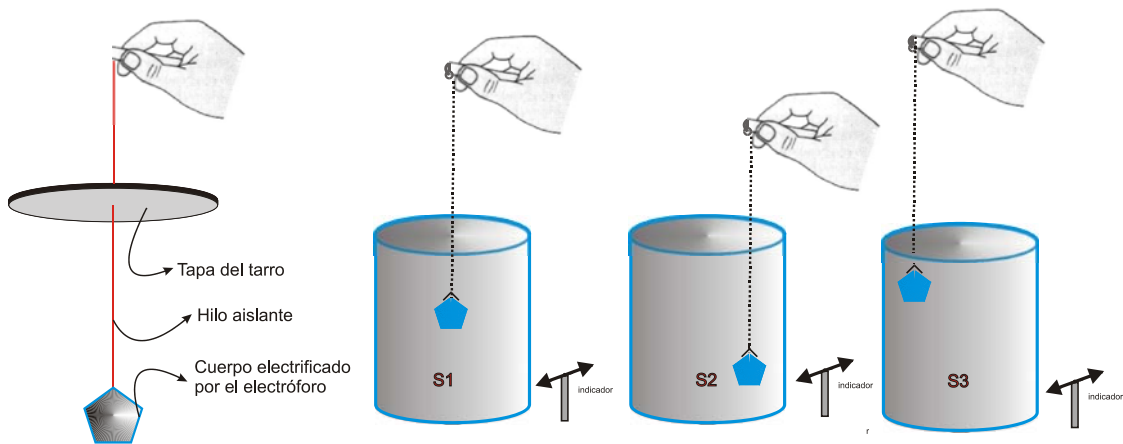


Figura 8. Comportamiento de conductores cerrados: interior

Por ejemplo las actividades que en este aspecto se propusieron en la implementación consistieron en adelantar descripciones de lo que sucedía al realizar la experiencia en cada una de las tres situaciones, con la intención que esta característica de los conductores sea resultado de la organización de la experiencia adelantada por los estudiantes (ver guía 8). A través de ella se pretende tener claridad respecto a que ningún cambio de posición al interior del recipiente metálico, afectara la electrificación en la región exterior al conductor.

Paralelamente, se puede plantear una experiencia como se muestra en la figura Número 9, para describir lo que sucede en el caso contrario, es decir, como afectan los cambios en el exterior la electrificación en el interior del recipiente. Se concluye de ella que estos cambios no afectan el indicador al interior del recipiente metálico cerrado⁶. Una vez se realizan estas actividades, es fácil llegar al consenso que el comportamiento de los recipientes metálicos cerrados dividen el espacio en dos regiones eléctricas independientes, tal y como se logró en la intervención realizada.

⁶ Esta actividad también puede tener muchas variantes, pues de lo que se trata es de reproducir lo que normalmente se conoce como jaula de Faraday.

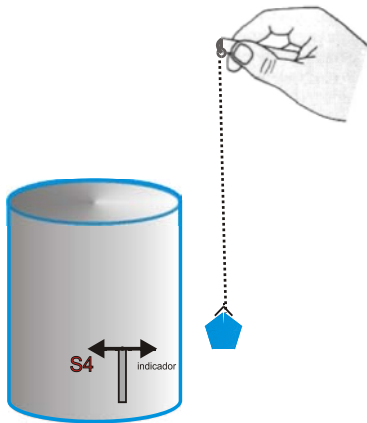


Figura 9. Comportamiento de conductores cerrados: exterior

Otra de las características de los recipientes conductores cerrados se puede establecer a partir del experimento VII, propuesto por Maxwell (1954).

Experimento VII: Sea el recipiente B cargado con una cantidad de electricidad positiva, que por el momento denominamos la unidad, introducido en el recipiente mayor C aislado sin tocarlo. Este producirá una electrificación positiva en el exterior de C. Ahora deje que B toque el interior de C. No se observará ningún cambio de la electrificación externa. Si B ahora es sacado de C y alejado a una distancia suficiente se encontrará que B está totalmente descargado y que C se ha cargado con una unidad de electricidad positiva. Así tenemos un método para transferir la carga de B a C.

De esta manera, si un conductor electrificado entra en contacto con la superficie interior de otro conductor cerrado, pierde todo estado de electrificación el cual es transferido al exterior del recipiente conductor cerrado, y esto sucede independientemente del estado de electrificación del conductor cerrado. Así mismo, si un conductor electrificado entra en contacto con la parte exterior de un recipiente conductor y luego es separado, se observará que no se modificará el estado de electrificación al interior del recipiente, que no desapareció el estado de electrificación del cuerpo que inicialmente se encontraba electrificado y además, el estado de electrificación en el exterior del recipiente metálico es modificado.

Similarmente a como se propuso en la anterior actividad, tomando esta experiencia como se puede proponer una actividad como se muestra en la figura Número 10. Se trata de electrificar un cuerpo, luego ponerlo en contacto tanto con la superficie interior de un recipiente conductor cerrado, como con la superficie exterior del mismo y describieran cada una de las situaciones. Se espera que al describir lo que sucede en cada situación, se pueda llegar a concluir que el estado de electrificación en un cuerpo metálico que se coloca en contacto con el interior de un recipiente conductor cerrado, en este se evidencia un cambio en su estado de electrificación tal que no presenta ningún signo de electrificación después de

que es retirado del recipiente, y simultáneamente el estado de electrificación del recipiente metálico también fue modificado⁷.

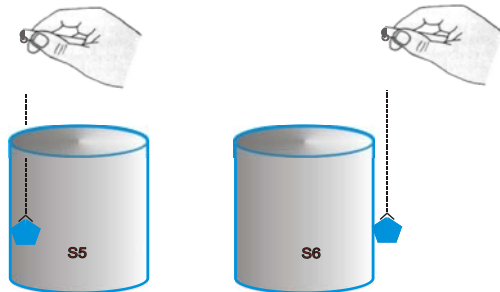


Figura 10. Contacto de cuerpos electrificados con un conductor cerrado

Seguidamente, de los aspectos relevantes que puede evidenciarse a partir de los conductores cerrados, lo constituye la posibilidad de electrificar zonas. Véase una de las conclusiones de Maxwell en el experimento II.

“Efectos similares se producirían si el vidrio fuese suspendido cerca del recipiente en el exterior, pero en este caso encontraríamos una electrificación vítrea en una parte del exterior del recipiente y resinosa en otra. Cuando el vidrio está en el interior del recipiente todo el exterior está vítreamente electrificado y todo el interior resinosamente” Maxwell (1954)⁸

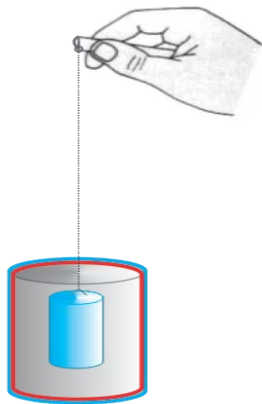


Figura 11. La electrificación en zonas 1

⁷ La experiencia implementada presento algunas dificultades, pues, el conductor empleado (esferas de hierro, cobre, grafito entre otras), perdía rápidamente la electrificación. Por tal motivo se tuvo que utilizar una bola hecha de papel aluminio, además de un generador electrostático para magnificar los efectos eléctricos. Adicionalmente empleamos una sonda desde el generador de Wimshurst hasta la bola de aluminio que se hallaba por dentro del recipiente metálico y de esa forma mostrar lo anteriormente mencionado

Así las cosas, el hecho de introducir un cuerpo electrificado al interior de un recipiente metálico, éste induce sobre el recipiente dos tipos de carga, una al interior y otra al exterior. Sobre el exterior se induce un tipo de carga igual a la del cuerpo y sobre el interior, un tipo de carga opuesta a la del cuerpo introducido⁹. (Véase Figura 11). Si por el contrario, se aproxima un cuerpo electrificado por el exterior del recipiente metálico, se puede evidenciar que el recipiente metálico se electrifica por zonas, es decir, una parte del exterior del recipiente (la frontal) se electrifica con un tipo y la otra parte (la de atrás) con el otro tipo. (Véase figura 12)

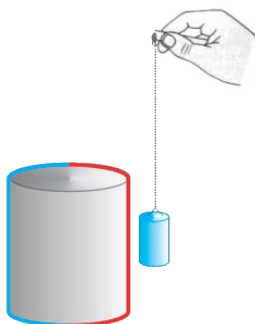


Figura 12. La electrificación en zonas 2

La construcción y cuantificación de la cantidad de electrificación como magnitud extensiva asociada a los cuerpos electrificados

Hasta el momento el trabajo con los materiales y el indicador ha permitido avanzar en la conceptualización del fenómeno eléctrico, pues, además de caracterizar el fenómeno, conocer el comportamiento de los materiales en relación al mismo, y las formas de electrificar un sistema, también, se entiende que la electrificación surge en la interacción de (al menos) dos sistemas y por tanto ambos sistemas quedan electrificados. En consecuencia, la electrificación de los cuerpos tiene un carácter dual, e incluso se presenta la plausibilidad de electrificar zonas de un mismo cuerpo abriendo la posibilidad de pensar la electrificación como un problema de la condición del espacio y no de los cuerpos.

Sin embargo, se llega a un punto donde solo a través del instrumento, se puede determinar si un cuerpo está electrificado o no, y a lo sumo si la electrificación lograda es mayor o menor, no obstante se prevé que hay aspectos del fenómeno que se deben diferenciar y se espera que en condiciones particulares se puedan evidenciar efectos sensibles diferentes.

⁹ Es de notar que no nos concentraremos en los tipos de carga, sin embargo los resultados con respecto al comportamiento de los materiales si son importantes, no obstante, sería fácil de evidenciar utilizando por ejemplo una barra de prueba resinosa y observando si esta se siente atraída o repelida, tal cual lo explica Maxwell en el experimento I.

En este orden de ideas, es necesario continuar con el proceso de la organización del fenómeno. Esto no sólo es posible con la observación directa¹⁰, pues se requiere de instrumentos que lo posibiliten. La identificación de características adicionales como la diferenciación de magnitudes y su cuantificación no se logra sólo a partir de un simple indicador, sino que se hace necesaria toda una identificación previa de una serie de presupuestos teóricos y de modificaciones al instrumento mismo. De igual manera es necesario que las observaciones se realicen con una intención particular, forzando así una lectura en confrontación de la dimensión conceptual con la dimensión sensible, y de esta manera lograr con una mayor adecuación los nuevos conceptos recibidos (Mach, 1948: 114), de tal manera que se pueda identificar lo que antes no se podía.

Además, es precisamente en este sentido que, desde la perspectiva fenomenológica, se afirma que no son los cuerpos —objetos, fenómenos o procesos— los que contienen las propiedades; por el contrario: el conjunto de propiedades relativamente estables es lo que nos permite identificar a un cuerpo como tal (Mach, 1948). De esta forma, es el proceso de identificación de las características de los cuerpos electrificados, el que permite hablar en particular de tal fenómeno, es decir, la noción de fenómeno ya es una organización interna que para ser elaborada, requiere del contacto y del conocimiento del mundo exterior, es decir, requiere tener una amplia experiencia sensible, una amplia “fenomenología”.

A este respecto se pueden encontrar conclusiones interesantes en la reflexión experimental que resultan ser relevantes. La exploración inicial del instrumento permitió obtener cierta información del comportamiento de los materiales conductores, ahora esta información organizada de cierta manera permitirá hacer modificaciones en el indicador inicial permitiendo acceder nuevamente a la experiencia y poder observar con otros ojos y obtener nueva y relevante información.

En especial, en el proceso de construcción de la cantidad de electrificación los recipientes conductores cerrados son determinantes para diferenciar aspectos en el fenómeno eléctrico. Hasta hora se puede evidenciar que un conductor cerrado divide el espacio en dos regiones y que desde el exterior no se puede dar cuenta de los cambios que suceden en el interior. De esto Maxwell concluye en el experimento V que:

La electrificación de la resina es exactamente igual y opuesta a la del vidrio. Introduciendo cualquier número de cuerpos electrificados de cualquier manera, se puede mostrar que la electrificación del recipiente es la debida a la suma algebraica de todas las electrificaciones, reconociendo como

¹⁰ En palabras de Wartofsky, al realizar una observación ya se está realizando una clasificación: lo que se selecciona son rasgos o características que, según las circunstancias o las convenciones, reciben el nombre de propiedades, atributos o cualidades (Wartofsky, 1973: 206).

negativas a las resinosas. Tenemos así un método práctico de agregar los efectos eléctricos de varios cuerpos sin alterar su electrificación.

Así, se tiene que la electrificación en el exterior de un recipiente es el resultado de la suma algebraica de cuerpos electrificados en su interior. De ahí que se puedan proponer instrumentos que permitan identificar propiedades relativamente estables en los sistemas electrificados, y posteriormente la cuantificación de las mismas.

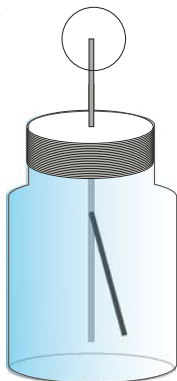


Figura 13. Electroscopio simple

Como referente analícese a continuación el proceso de identificación de la cantidad de electrificación.

Para empezar, es conveniente para los propósitos de este trabajo, cambiar el indicador eléctrico, por un electroscopio (ver figura Número 13). Si bien no es el mismo efecto que se observa en el indicador inicial (ver figura Número 2), el efecto observado es producido por cuerpos electrificados, y mínimamente sirve para la identificación de cuerpos electrificados y ciertas diferencias entre estos.

Cuando un cuerpo electrificado se acerca a un electroscopio produce una deflexión en el indicador del electroscopio, esta deflexión es producida por la inducción sobre el electroscopio generada por el cuerpo electrificado. El extremo inferior del indicador está formado por dos partes (laminas), que estarían electrificadas con el mismo tipo de electrificación, y por lo tanto se presenta una repulsión. Sin embargo esta deflexión varía según la distancia del cuerpo electrificado y el electroscopio. (Ver figura Número 14).

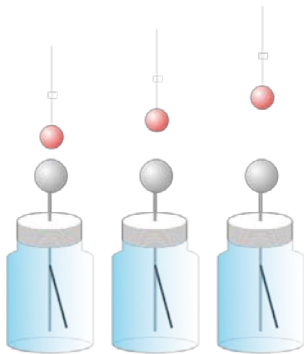


Figura 14. El efecto de la distancia de cuerpos electrificados 1

Si el electroscopio se modifica colocando una caja conductora en su parte superior como se muestra en la figura Número 15, y se limita la exploración de un cuerpo electrificado al interior de la caja, se puede evidenciar que los cambios de posición del cuerpo electrificado no modifican la deflexión del indicador como se muestra en la figura Número 16.

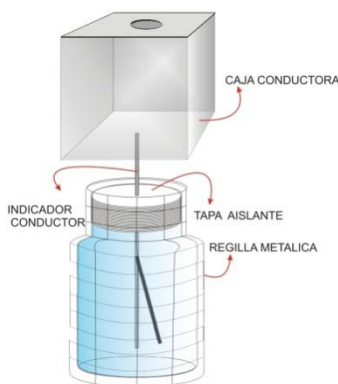


Figura 15. Electroscopio propuesto por M. Guerra

La malla metálica que cubre el electroscopio es para aislar de efectos eléctricos externos la deflexión del indicador. Por otro lado, la lectura en el indicador también puede variar por la extensión del cuerpo electrificado, es decir, si se tienen dos cuerpos idénticamente electrificados, se acercan a un electroscopio a la misma distancia, donde la única diferencia es que uno de los cuerpos tiene una mayor extensión, la lectura en el electroscopio también varía. (Ver figura Número 17.)

Este problema también se soluciona con la caja metálica, pues al colocar los cuerpos en el interior de la caja metálica se observan iguales deflexiones.

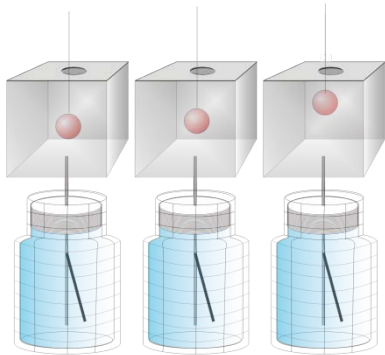


Figura 16. El efecto de la distancia de cuerpos electrificados 2

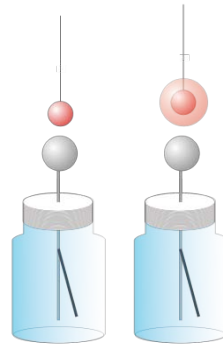


Figura 17. El efecto de la forma de cuerpos electrificados 1

En la implementación, estos resultados se lograron utilizando un generador de *Wimshurst*, que como se ha mencionado anteriormente, ayuda a magnificar el efecto. Utilizando este electroscopio modificado en el caso de la distancia, no se presentaron mayores dificultades y se percibe correspondencia con los resultados esperados. A medida que se varía la posición al interior del recipiente, no se presentaba variación en el indicador. Sin embargo, el proceso de electrificar cuerpos de diferente tamaño con la misma cantidad de electrificación, es más complejo.

Se asume que dos cuerpos electrificados de diferente extensión (en este caso, dos esferitas construidas con papel aluminio de diferente diámetro) están igualmente electrificados, si se asegura que ambos se electrifican con el mismo proceso. Ver figura Número 18, y que tienen igual efecto en la experiencia (deflexión del electroscopio).

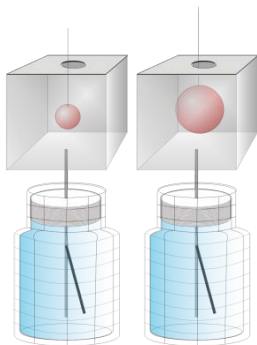


Figura 18. El efecto de la forma de cuerpos electrificados 2

En este sentido, hay buenos elementos tanto teóricos como procedimentales para considerar que el electroscopio de caja metálica, (al posibilitar separar la cantidad de electrificación de otras cualidades presentes en los cuerpos electrificados), permite asociar la deflexión de sus laminas con la cantidad de electrificación. Este hecho posibilitará posteriormente llegar a la ordenación y cuantificación de la cantidad de electrificación.

Para empezar, es pertinente tener en cuenta que la cantidad de electrificación es una magnitud de carácter extensivo, esto se puede evidenciar claramente por su comportamiento aditivo. En particular en el experimento V de Maxwell se presenta tal estructura:

“En el experimento II se mostró que si un trozo de vidrio electrificado por rozamiento con resina es introducido en un recipiente metálico la electrificación observada en el exterior no depende de la posición del vidrio. Si ahora introducimos el pedazo de resina con el cual el vidrio fue frotado, sin tocar ni el vidrio ni el recipiente, se encontrará que no hay electrificación fuera del recipiente. De esto concluimos que la electrificación de la resina es exactamente igual y opuesta a la del vidrio. Introduciendo cualquier Número de cuerpos electrificados de cualquier manera, se puede mostrar que la electrificación del recipiente es la debida a la suma algebraica de todas las electrificaciones, reconociendo como negativas a las resinosas. Tenemos así un método práctico de agregar los efectos eléctricos de varios cuerpos sin alterar su electrificación” (Maxwell, 1954,).

Maxwell, también presenta procedimientos con conductores cerrados para producir cantidades de electrificación iguales, consideremos el Experimento VI:

“Sea un segundo recipiente metálico aislado, B y sean el trozo de vidrio electrificado puesto en el interior del primer recipiente, A, y el trozo de resina electrificado en el recipiente B. Póngase los dos recipientes en contacto mediante el alambre metálico como en el experimento III. Todos los signos de electrificación desaparecerán.

Luego retire el alambre y saque los trozos de vidrio y resina de los recipientes sin tocarlos. Se encontrará que A está electrificado resinosamente y B vítreamente. Si ahora el vidrio y el recipiente A se introducen juntos en el recipiente metálico C, más grande y aislado, se encontrará que no hay electrificación fuera de C. Esto muestra que la electrificación de A es exactamente igual y opuesta a la del trozo de vidrio, y la de B se puede mostrar de la misma manera que es igual y opuesta a la del trozo de resina.

Así hemos obtenido un método para cargar un recipiente con una cantidad de electricidad exactamente igual y opuesta a la de un cuerpo electrificado sin alterar la electrificación de este último y de esta manera podemos cargar cualquier Número de recipientes con exactamente iguales cantidades de electricidad de cualquier clase que podemos tomar como unidades provisionales” (Maxwell).

Obsérvese que esta igualdad está garantizada más que por ella misma, por el procedimiento realizado. Y una vez establecido tal procedimiento, se tiene también una forma de adicionar cantidades de electrificación, que junto con el anterior

procedimiento puede construir cantidades múltiplos de una unidad, y así determinar que la cantidad de electrificación es una cantidad extensiva y medible.

Adicionalmente, es preciso tener en cuenta, que el hecho que la cantidad de electrificación sea una cantidad medible implica que los procedimientos para la adición de tales cantidades y los números asignados a ellas cumplen con una estructura algebraica, pudiendo establecer un isomorfismo entre el Número asignado a la propiedad y el Número perteneciente a determinado conjunto numérico. En estas instancias no hay dudas de que la cantidad de electrificación es una magnitud (ver a este respecto, GUERRA, 1985 y ROMERO et al, 2003, investigación).

El equilibrio electrostático: establecimiento de un estado de electrificación

En el apartado anterior se presentó la construcción de la cantidad de electrificación, como una magnitud de carácter extensivo. Sin embargo, la comprensión misma del fenómeno eléctrico implica la construcción de otra magnitud asociada a la idea de estado de electrificación. En este sentido, al igual que otros fenómenos como los mecánicos o los térmicos, la interacción entre sistemas sólo es posible cuando ellos presentan diferentes condiciones o estados.

Es decir, para establecer relaciones entre sistemas se necesita identificar las variables que representan y posibilitan la interacción en forma definida. (Guidoni, P et al, 1987).

Se dice que dos cuerpos interactúan (mecánicamente) si presentan velocidades diferentes. Así, el cambio en la velocidad es un indicador de la interacción mecánica (ver a este respecto Romero et al 2003). El caso del fenómeno eléctrico, se necesita definir cuando dos sistemas electrificados están interactuando y cuáles son las características que hacen posible la interacción.

Para esto, considérense dos recipientes metálicos electrificados y conectados por medio de un conductor. Si por medio de indicadores eléctricos (electroscopio) se puede dar cuenta de cambios en la electrificación de ambos sistemas, se dice que los sistemas interactuaron eléctricamente¹¹. Además se puede afirmar que se presentó una transferencia de cantidad de electrificación de un sistema a otro, y por tanto una conducción por el cable conductor que une los sistemas.

¹¹ Obsérvese que sólo se ha definido la interacción de cuerpos metálicos electrificados, no es objeto de análisis para este trabajo la interacción eléctrica entre cuerpos no conductores electrificados.

Si al disponer de dos recipientes metálicos conectados por medio de un conductor, la electrificación de los cuerpos no se modifica, se dice que los sistemas estaban con el mismo estado de electrificación, y no hay conducción por el conductor.

Esta experiencia se puede realizar si dos recipientes metálicos como se muestran en la figura Número 19 se cargan con igual cantidad en el sentido antes propuesto. Si se conectan con un alambre de cobre, las lecturas de los respectivos electroscopios no se modifica, lo cual constata, que no hubo interacción entre los sistemas.

Figura 19. Electroscopios con el mismo estado de electrificación

Si este procedimiento se repite, modificando el tamaño de los recipientes, puede evidenciarse que a diferencia de la situación anterior, si se presenta interacción eléctrica, evidenciada por el cambio en las deflexiones de las láminas de los electroscopios, de forma tal que la lectura en ambos electroscopios corresponde aproximadamente a la misma condición de equilibrio, esto porque si se colocan cargas iguales en electroscopios diferentes, no hay razón para pensar que las lecturas en el electroscopio sean iguales, teniendo en cuenta que el tamaño de los recipientes es diferente. Pero cuando estos dos recipientes se conectan mediante un conductor formarían un solo sistema o cuerpo metálico, de ahí que las lecturas resultantes de los electroscopios marquen la misma cualidad¹². De esta experiencia se puede concluir que los sistemas interactuaron hasta llegar a un punto de equilibrio y que hubo conducción por el cable conductor que los une. Ver figura 20.

¹² Se debe garantizar en este punto que la región donde se encuentra el indicador debe de ser rodeada de un recipiente metálico, de esta manera no hay influencia considerable diferente a la interacción de los conductores exteriores.

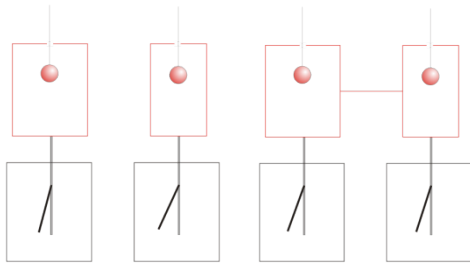


Figura 20. Electroscopios con diferente estado de electrificación

Puede afirmarse, en consecuencia, que al no evidenciarse ninguna interacción en la primera experiencia los dos recipientes se encontraban en el mismo estado de electrificación, mientras que en la segunda los cuerpos estaban con estados de electrificación diferentes, en este último caso los cuerpos interactúan y se asume que la interacción cesa cuando los estados de electrificación de ambos sistemas se igualan. Es también claro que la condición de equilibrio no se presenta necesariamente cuando los sistemas tienen la misma cantidad de electrificación, sino que es preciso caracterizarla con una propiedad diferente.

Una situación análoga que sucede en la mecánica de fluidos: considérese que se dispone de dos situaciones como se muestra en la figura Número 21. En la primera se conectan dos recipientes idénticos con un tubo, en esta situación el equilibrio final del sistema se obtiene con cantidades de agua iguales. Sin embargo, en la segunda situación con recipientes diferentes el equilibrio no se logra con iguales cantidades de agua. En este caso se sabe por ejemplo que la cualidad física que da cuenta de la interacción es la presión. (Ver guía Número 21).

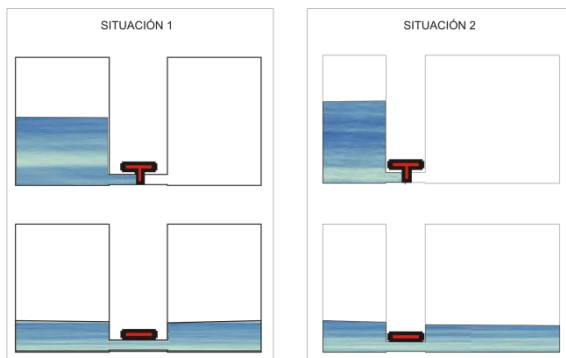


Figura 21. Comparación con Fluidos

La construcción y cuantificación del potencial eléctrico como medida del estado de electrificación.

A diferencia de la cantidad de electrificación la propiedad que representa, los estados de electrificación no tienen una estructura aditiva¹³. Pero es posible atribuirseles una lógica de las relaciones de orden y consecuentemente construir un procedimiento para su medida (Romero, 2005:125).

Al igual que en otros fenómenos, a través de comparaciones entre situaciones físicas donde tales magnitudes se hacen relevantes (Guidoni et al, 1987); se pueden comparar cualidades del mismo tipo para establecer sus criterios de orden. Considérense dos electroscopios A y B, que se encuentran electrificados por algún procedimiento, cada uno presenta una abertura Φ_A , y Φ_B , respectivamente.

Luego se conectan mediante un cable conductor y se observa que no hubo variación en las lecturas, concluyéndose que no hubo conducción eléctrica, y en consecuencia ambos recipientes se encuentran en el mismo estado de electrificación criterio de igualdad.

Para el establecimiento de criterios de cuando un sistema tiene mayor o menor estado de electrificación, no es fácil, pues, para dar cuenta que dos sistemas tienen diferente estado de electrificación, es necesario colocarlos en interacción y percibir cambios en las lecturas del electroscopio. Al ponerlos en interacción, los estados iniciales cambian hasta que se equilibran, luego la información suministrada por estas lecturas es del estado en el cual se encontraba el sistema formado por los cuerpos, y por tanto estaría limitado al proceso por el cual se electrificó inicialmente cada uno de los cuerpos.

Por ejemplo si al colocar los dos electroscopios conectados con un conductor se observa que la abertura Φ_A disminuye y Φ_B aumenta, se puede establecer que hubo conducción del recipiente A, hacia el recipiente B. en consecuencia el estado de electrificación inicial de A era mayor que el de B. Luego si se puede repetir el proceso por el cuales se electrificó inicialmente los electroscopios es posible ordenarlos. De esta manera puede plantearse, al igual que en otros fenómenos como el caso térmico, que no es posible dar cuenta del estado eléctrico de un sistema si este no es modificado.

¹³ De la misma manera que se puede mostrar con la densidad por ejemplo, si un cuerpo tiene 7 unidades de densidad —como es el caso del hierro—, no significa que este valor se pueda obtener por la reunión de siete cuerpos de densidad 1 unidad —como es el caso del agua—; o cuando se afirma que un cuerpo se mueve con una velocidad de 60 unidades, no significa que esta velocidad se pueda reproducir juntando tres cuerpos de velocidad 20 unidades.

Por ende, para dar cuenta del estado de electrificación de un sistema sólo se puede hacer desde la interacción, y que ésta a su vez modifica su estado; por tanto, se debe propender por una interacción que produzca un cambio muy pequeño en el estado de electrificación del sistema.

En este orden de ideas, se consideran dos análisis relevantes para la construcción de estos criterios: el primero se relaciona con la abertura o deflexión del electroscopio y cómo ésta se relaciona con la diferencia de estados de electrificación y las condiciones del instrumento; la segunda hace referencia a las consideraciones necesarias para dar cuenta del estado de electrificación de un conductor.

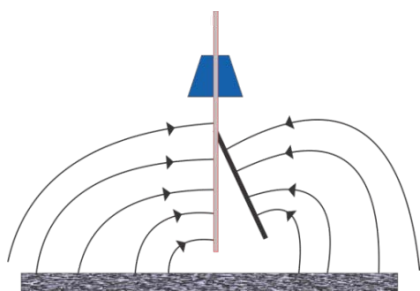


Figura 22. Condensador general

Respecto al primero, se ha tenido la oportunidad de analizar las condiciones que debe tener un electroscopio y el procedimiento para asociar la deflexión del electroscopio a la cantidad de electrificación. En ésta, la caja conductora resultó ser de gran relevancia, y el papel de la malla, se asociaba a la posibilidad de aislar eléctricamente del medio la lectura del electroscopio. Para el caso del estado de electrificación posiblemente, la deflexión de las láminas del electroscopio puede considerarse como el criterio para dar cuenta de este estado, si se dispone de un electroscopio con ciertas condiciones y procedimientos para poder hacer tal asociación.

En primera instancia hay que poder ver un electroscopio como un condensador en el cual uno de los conductores es el indicador y el otro cualquier elemento que haga las veces de conductor con diferente estado de electrificación. En el condensador presenta una atracción entre las superficies enfrentadas, debido a una diferencia de estados de electrificación; sin embargo esta atracción varía según cambie la geometría del condensador, es decir, en un electroscopio que no disponga de una cubierta metálica formaría diferentes condensadores en relación al contexto que lo rodea¹⁴. (Ver figura Número 22). Así, puede formarse un

¹⁴ Un capacitor está formado por dos conductores y este se puede considerar como el formado por el indicador y el piso, el indicador y una pared, en general el indicador y cualquier otra superficie

condensador entre el indicador del electroscopio y el piso, o la pared, o cualquier otro conductor que este en el medio.

De esta manera si se dispone de un conductor electrificado con diferentes grados de curvatura, y este se conectan electroscopios en diferentes partes del sistema se tendría que la deflexión en los diferentes electroscopios podría ser diferente pues la configuración geométrica del condensador sería diferente, observe la región resaltada en la figura 23.

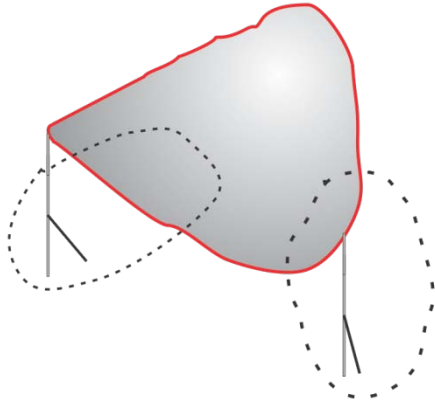


Figura 23. Cuerpo electrificado con diferentes grados de curvatura 1

En consecuencia, es difícil el análisis de esta diferencia de estados de electrificación, sin embargo si el electroscopio cuenta con una cubierta metálica, no solamente esta aislando el indicador de influencias eléctricas externas, sino también, mantiene una geometría poco variable, formando un condensador de geometría estable entre el indicador del electroscopio y las paredes del recipiente metálico. (Ver figura Número 24).

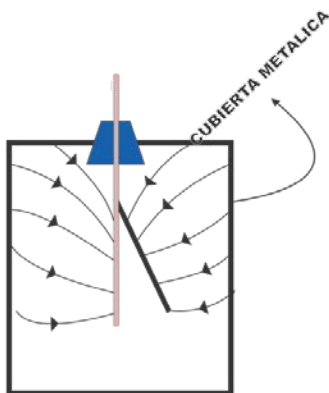


Figura 24. Condensador de geometría estable

que este a un potencial diferente. De esta manera las líneas de campo deben variar según varié la configuración del capacitor.

De esta manera, si se conectan electroscopios como los indicados en la figura 25, a un conductor electrificado con diferentes grados de curvatura, se tendría que la deflexión en los diferentes electroscopios podría ser la misma (ver figura 25)¹⁵.

Luego, la deflexión del electroscopio se puede entender como producto de una diferencia de estados de electrificación entre el indicador y la superficie metálica que cubre el electroscopio, de modo que a mayor diferencia de estados de electrificación, mayor es la atracción de las partes del condensador y por tanto mayor la abertura del indicador.

En relación al segundo aspecto, una de las consideraciones se concentra en disponer de un recipiente de superficie muy pequeña de forma tal que no alterare significativamente el estado de electrificación que se quiere ordenar¹⁶.

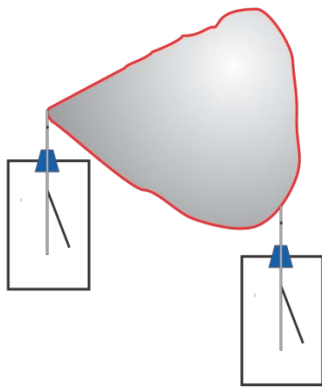


Figura 25. Cuerpo electrificado con diferentes grados de curvatura 2

Considérense dos electroscopios similares a los propuestos inicialmente¹⁷, idénticos, que solo difieren en el tamaño del recipiente metálico, inicialmente con diferentes estados de electrificación y se unen con un cable conductor, tras la interacción se forma un solo sistema con un solo estado de equilibrio eléctrico. En consecuencia si la deflexión de las láminas del electroscopio da cuenta del estado de electrificación, entonces las lecturas de los electroscopios condensadores tienen aproximadamente la misma abertura, pues indican el mismo estado de electrificación. Ver figura Número 20.

¹⁵ Pese a que no tenemos datos de esta experiencia, y habría que realizarla, si constituye una alternativa de orden conceptual.

¹⁶ Esto se hace bajo el supuesto de que al colocar un cuerpo conductor electrificado, en contacto con una superficie muy pequeña la modificación del estado de electrificación final del sistema no difiere mucho del estado de electrificación del sistema.

¹⁷ Este electroscopio es propuesto por Guerra(1985)

Ahora, si uno de los recipientes se hace más pequeño no hay razones para pensar que las conclusiones anteriores cambien, y este procedimiento puede hacerse continuamente hasta que el tamaño de uno de los recipientes sea despreciable.

En esta situación el estado de electrificación del sistema no difiere mucho del estado de electrificación del recipiente de mayor tamaño, y se podría considerar que las lecturas en los electroscopios corresponden al estado de electrificación de tal recipiente. Ver figura Número 26.

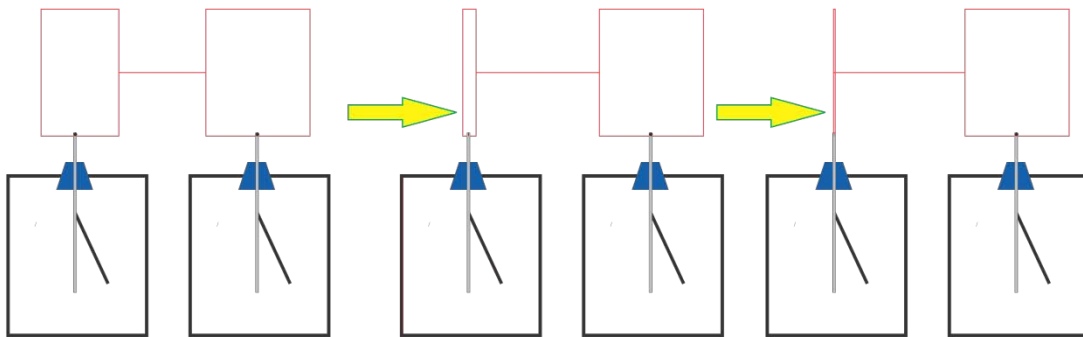


Figura 26. Extrapolación del recipiente metálico

Por otro lado, si ambos electroscopios marcan aproximadamente la misma abertura, y el indicador del electroscopio es lo suficientemente pequeño, se puede proponer que en la situación anterior solo se disponga de un electroscopio, y que la lectura del electroscopio corresponde al estado de electrificación final del sistema, y por tanto correspondiente al estado de electrificación del cuerpo electrificado. Ver figura Número 27.

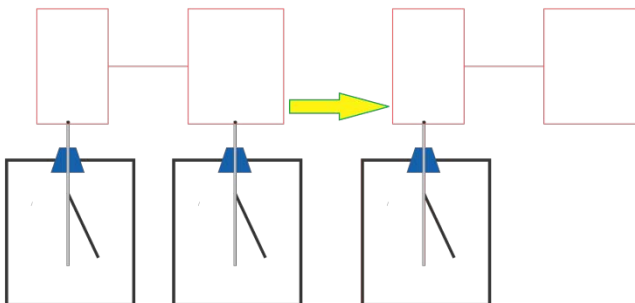


Figura 27. Extrapolación para un solo electroscopio

En conclusión, si se tiene un cuerpo conductor electrificado y se dispone de un electroscopio con las condiciones indicadas, basta colocar en contacto el conductor con el electroscopio, y podríamos aproximarnos a que la lectura del electroscopio da cuenta de la diferencia de estados entre el cuerpo conductor y las paredes metálicas del electroscopio. Ver figura Número 28.

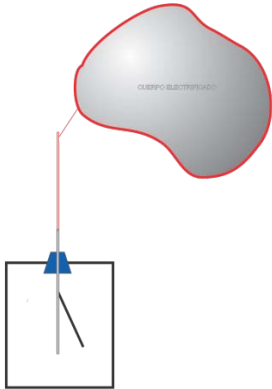


Figura 28. Situación final en la experiencia mental

De esta forma, se puede asociar la abertura del electroscopio con cubierta metálica, con la diferencia de estados de electrificación de un conductor que se coloque en contacto con el electroscopio y la cubierta metálica del electroscopio.

Así, se tienen dos conductores electrificados con estados de electrificación A y B respectivamente, y si el conductor de estado A se conecta con un electroscopio de recipiente metálico, entonces le corresponde la abertura del indicador θ_A ; similarmente el conductor de estado B se conecta a un electroscopio idéntico al anterior se obtiene la abertura θ_B , luego, el orden de los estados de electrificación de los conductores, están determinados por el orden que se puede establecer entre las aberturas θ_A y θ_B respectivas del electroscopio. De manera que si $\theta_A > \theta_B$, entonces el estado eléctrico $A > B$.

Una vez establecida dicha ordenación, el paso a seguir es la cuantificación, es decir, asignar valores numéricos que represente adecuadamente dicho orden. Tal asignación no puede ser arbitraria y por tanto hay que establecer un procedimiento para determinar sin ambigüedad la cifra que hay que asignar a cada estado de electrificación. De esta manera cada número representará el grado del estado de electrificación, que en adelante se seguirá denotando por potencial eléctrico.

Se hace necesario resaltar en este punto, que no tiene sentido especificar el potencial eléctrico de un sistema, sino más bien, la diferencia de potencial

eléctrico respecto la de otro asumido como referencia. Sin embargo, si por algún otro mecanismo se conoce el potencial de uno de los sistemas en interacción, se puede inferir fácilmente el potencial eléctrico del sistema desconocido.

En particular la tierra es un conductor lo suficientemente grande que difícilmente pueden detectarse cambios en su estado de electrificación, y por tanto, es un referente lo suficientemente estable y puede considerársele de potencial cero (Peruca, 1994).

Así las cosas, si un electroscopio de recipiente metálico se conecta con la tierra, formaría un solo sistema con potencial cero. Luego si por medio de un conductor se coloca en interacción el indicador del electroscopio con el cuerpo electrificado, formando un solo sistema con el mismo potencial (ver figura Número 29), entonces, como el electroscopio está conectado a tierra que por convención esta a potencial cero, la abertura estaría dando cuenta del potencial de equilibrio entre el indicador y el cuerpo electrificado. Como se mencionó antes el indicador a modificado muy poco el cuerpo electrificado y se podría considerar que la abertura está dando cuenta del potencial eléctrico del cuerpo electrificado.

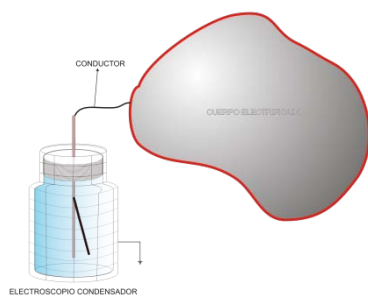


Figura 29. Sistema unificado

A través de la longitud de arco del indicador del electroscopio, se dispone de una escala para la medición del potencial eléctrico de tal forma que a cada longitud de arco se le pueda asociar un grado de potencial referenciado a un patrón.

En el proceso de cuantificación de esta cualidad se debe establecer un procedimiento y una forma de establecer una unidad patrón y consecuentemente una escala que elimine cualquier ambigüedad en la asignación de un Número.

Este último suele establecerse con un fenómeno fácil de reproducir y que arroje el mismo efecto bajo las condiciones establecidas. Tal es el caso de la pilas, pues, a igualdad de naturaleza química de los conductores que constituyen una pila, a igualdad de condiciones físicas (Temperatura, presión, Luminosidad) la diferencia de potencial que se manifiesta en los extremos de la pila en circuito abierto es fija y constante.

Para este caso en particular podemos imaginar un electroscopio con caja metálica y calibrarlo con pilas¹⁸. Esto se logra conectando un extremo de la pila a la caja conductora, y el otro al indicador. Al hacer esto se debe de producir una deflexión del indicador que está dando cuenta de la diferencia de potencial generado por la pila (ver figura N°30),

Resulta de interés en este punto que para el caso de establecer el doble de potencial, no se puede hacer directamente con el instrumento, es un asunto que debe de resolverse con algún procedimiento o experiencia estable que garantice por lo menos de forma teórica que se trata del doble de potencial, y por tanto la abertura del electroscopio corresponderá a el doble de potencial. Y similarmente para los otros grados de la escala (ver figura Número 31 y Número 32. Grados de escala).

Particularmente, esta dificultad se resuelve con pilas conectadas en serie, así dos pilas en serie determinan una abertura del electroscopio que corresponde al doble de potencial, y este proceso se puede repetir hasta que otros factores tengan que ser tomados en consideración y que limitarían al instrumento.¹⁹

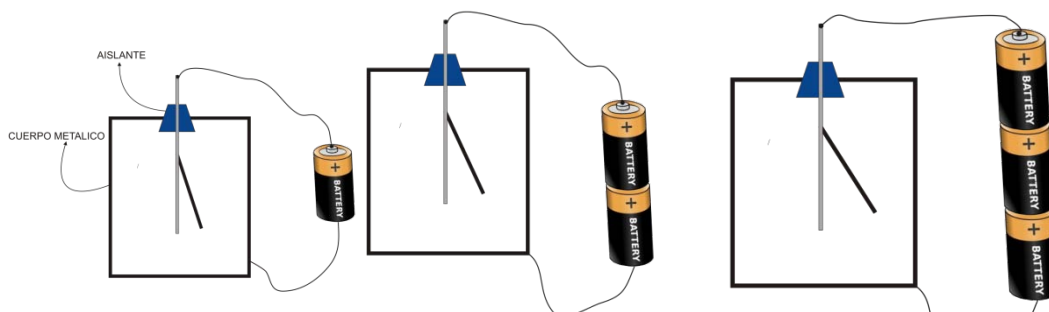


Figura 30. Grados de escala 1

Figura 31. Grados de escala 2

Figura 32. Grados de escala 3

Finalmente, resulta interesante, analizar, que el ángulo de abertura no es la única magnitud extensiva para establecer dicha organización, por ejemplo Maxwell, en su tratado de electricidad resuelve el problema utilizando el peso. (Véase figura Número 33).

¹⁸ Solo es una propuesta de orden conceptual pues para poder realizar este tipo de experiencias se necesita disponer de diferencias de potencial lo suficientemente grandes del orden de los 3000 voltios, y las pilas comunes y corrientes apenas suministran una diferencia de potencial de 1.5 voltios.

¹⁹ Es importante anotar en este punto que con pilas pequeñas es difícil establecer la escala pues prácticamente es imperceptible, deben de ser pilas que generen suficiente diferencia de potencial, por ejemplo como lo plantea Perucca, conectando 300 o más pilas en serie.

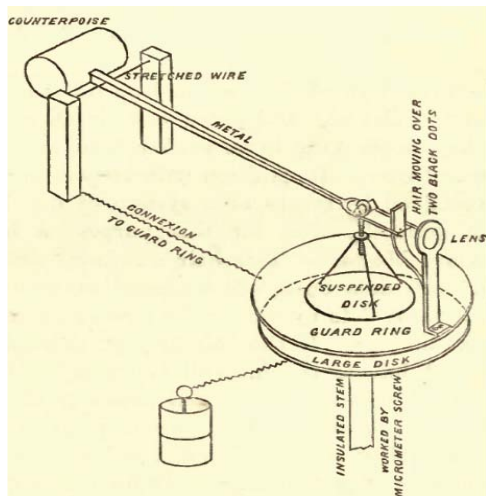


Figura 33. Propuesta de Maxwell

Utilizando un sistema de condensador de discos paralelos, uno de los discos de la parte superior tiene una porción central que es susceptible al movimiento generado por la diferencia de estados de electrificación entre los discos que forman el condensador, que está conectada a un sistema que permite equilibrar tal atracción con un peso.

A modo de conclusión

En la comprensión de fenómenos eléctricos, es indispensable poder contar con un conjunto de experiencias sensibles que configuren y den sentido al fenómeno eléctrico. Es en este sentido, particularmente relevante es el papel de los conductores, no solo en la configuración del fenómeno, sino también, en la construcción de magnitudes para la representación del fenómeno.

Por otro lado, se resaltan fases en estos procesos en el sentido en que: inicialmente la organización del fenómeno es puramente descriptiva (formas de electrificar, materiales, entre otras), seguidamente, para ir avanzando se requiere construir a través de un instrumento la posibilidad misma de ver una cualidad, es decir, se selecciona rasgos o características particulares de la experiencia que en conceso pueden ser reconocidas y darle el atributo de cualidad. (Tal es el caso del electroscopio propuesto por Mario Guerra y la cantidad de electrificación).

Finalmente, los conceptos de equilibrio eléctrico y de estado de electrificación, son esquemas potentes y muy eficientes en la organización de los fenómenos eléctricos. En particular en la cuantificación del potencial eléctrico como una magnitud que da cuenta del grado del estado de electrificación, y que van

configurando las estrategias de análisis de los procesos de cambio por estados y transformaciones (Guidoni, 1987; Arons, 1997; Romero, 2002).

En resumidas cuentas, más allá de un análisis de los procesos de cuantificación de magnitudes tales como la cantidad de electrificación o el potencial eléctrico se ha mostrado que: primero, la actividad experimental se encuentran en estrecha relación con las construcciones conceptuales en la cual el instrumento se configura como un campo que hace posible tal relación. Y segundo, que los procesos de recontextualización de la forma como se abordaron los fenómenos eléctricos en sus comienzos (en este caso el análisis del tratado de Maxwell), genera un nuevo y amplio espacio de posibilidades para la estructuración de la enseñanza de la electrostática, no solamente en la definición de problemáticas a abordar en los cursos de física, sino también en cuanto a la configuración de actividades y criterios para orientar los procesos de conocimiento de los estudiantes en torno a éstas.

CAPITULO III

3. UNA EXPERIENCIA CON MAESTROS EN FORMACIÓN

INTRODUCCIÓN

Como se mencionó anteriormente, esta propuesta está centrada en la relación que establece el docente con el conocimiento disciplinar, en este sentido, se han construido una serie de reflexiones de orden disciplinar, tomando como fundamento, los procesos de re-contextualización de saberes, que han mediado la elaboración de material didáctico para la enseñanza de la electrostática, dirigido a profesores de nivel medio y cursos introductorios de física en programas de formación de licenciados.

Este material didáctico propende fortalecer la actividad experimental en el aula de clase y dinamizar un trabajo de conceptualización que conlleve a los docentes de física a problematizar y cualificar el papel que juega la organización de la experiencia en la enseñanza de la física, y generar reflexiones sobre su práctica o futura práctica pedagógica en relación con la actividad experimental.

Dicho material didáctico ha sido sometido al análisis, revisión y posterior consenso de un grupo de expertos pertenecientes a los grupos Física y Cultura, del departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional, y del grupo de Estudios culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza-ECCE- de la Facultad de Educación de la universidad de Antioquia, y luego se ha implementado a un grupo de profesores en formación del programa de Licenciatura en Matemáticas y Física, de la Facultad de Educación de la universidad de Antioquia.

Es importante aclarar que la intención de la implementación de este material, al grupo de profesores en formación no es analizar los avances en cuanto a una mejor comprensión de la electrostática, sino fortalecer la propuesta didáctica, realizando un proceso de ajuste permanente de la propuesta, de acuerdo a las especificidades del grupo en cuestión. Tal proceso de ajuste se hace a partir de análisis de los problemas y posibilidades suscitadas de la manera como son expuestas y estructuradas las situaciones problemáticas propuestas, así, como del análisis las acciones que se hacen en torno a las manifestaciones de los estudiantes en la interacción con tal material.

Al ser el objeto de estudio de esta investigación, las prácticas e interacciones de los sujetos, en particular en el ambiente formativo, y considerando que la investigación cualitativa estudia el conocimiento y las prácticas de los participantes y analiza las interacciones acerca de las maneras de enfrentarse a las

problemáticas en un campo particular (Flick, 2004), este trabajo asume el enfoque cualitativo para la construcción del referente antes mencionado.

Se aclara además que la intervención se realizó en un curso regular de la Licenciatura en Matemáticas y Física, en el curso Taller de Física, donde este tenía un total de cinco integrantes. La metodología empleada fue la de taller, acompañada de debates grupales después de cada guía. (Medina, 2003).

La etapa inicial de la implementación se adelantó a través de lo que Flick (2007) denomina entrevistas episódicas, que corresponde a evocar situaciones que brinden elementos para empezar a construir reflexiones respecto a la enseñanza de las ciencias y la actividad experimental como Flick lo resalta.

Es entonces a través de este procedimiento que se pueden analizar las rutinas y los fenómenos cotidianos normales, entre tanto la entrevista episódica posibilita organizar el conocimiento en forma de narraciones de manera que está más cerca de las experiencias y se asocia a situaciones y circunstancias concretas.

Para reducir el grado de fracaso en este tipo de entrevista se han considerado realizarla en dos etapas. Una primera a nivel de relato escrito, pues se cree que tal y como lo plantea Balcazar (2005), los relatos escritos por los propios informantes, acerca de sus experiencias, sirven como guía para una entrevista en profundidad en temas específicos.

Ahora, con la información obtenida en esta etapa se elaboraron una serie de preguntas que se retomaron en una segunda etapa de registro de audio, donde dichas preguntas propenden por una reconstrucción de algunos episodios de la experiencia docente de los participantes en la actividad experimental, que sean relevantes para este estudio.

Complementariamente se ha utilizado como método para recoger la información de la socialización del trabajo con los estudiantes en formación, los grupos de discusión, pues según Pollock (1955: 34) se debe evitar estudiar las actitudes, opiniones y prácticas de los seres humanos en aislamiento artificial de los contextos en los que se producen. En este sentido los grupos de discusión corresponden con la manera en que las opiniones se producen, expresan e intercambian en la vida cotidiana.

Otro rasgo de este método es que posibilita modificaciones del grupo respecto a las opiniones que no son adecuadas, no se comparten socialmente o son extremas, como medio para validar afirmaciones y visiones. Así, la intención en el grupo se convierte en una herramienta para reconstruir las opiniones individuales más apropiadamente. Dichas discusiones se recolectaron en formato de audio y videos.

Como se mencionó anteriormente, el diseño de un material didáctico ha sido objeto de este trabajo de investigación que propende por mostrar alternativas para la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias, particularmente en el

ámbito de la electrostática.

Con esta premisa, se resaltan a continuación algunos aspectos de esta construcción, desde su diseño, estructura, intencionalidades didácticas y pedagógicas, y procesos de refinamiento.

Tales aspectos se agrupan en tres grandes momentos. Uno en relación a las exploraciones iniciales tanto del fenómeno eléctrico como del papel del experimento, un segundo momento, donde se resaltan procesos de representación y características sociales y culturales del conocimiento, y por último que recoge los aspectos del papel del experimento a través de el proceso de cuantificación de la magnitud potencial eléctrico.

La exploración

En esta primera etapa se propuso a los estudiantes la construcción de un relato en torno a un momento de su proceso de formación en relación con las actividades experimentales (ver anexo N°1). La intención de este relato es tanto evidenciar la reflexión que han construido en sus procesos de formación respecto a la actividad experimental, como, establecer correspondencias sobre el papel de la actividad experimental presentadas por algunas investigaciones en el ámbito educativo. Se ha sugerido en tal relato hacer una exploración detallada de experiencias que brinden elementos para la construcción del fenómeno eléctrico, en la medida que consideramos, dado el análisis disciplinar que se ha construido, que a diferencia del estudio de otros fenómenos donde se puede contar con un conjunto de experiencias organizadas, en el caso de la electrostática son muy pocas o nulas.

De esta primera etapa se puede resaltar que los episodios construidos y denominados por los estudiantes como los más significativos, fueron aquellas actividades donde ellos mismos se involucraron en el diseño de las actividades experimentales.

Por ejemplo, inicialmente Camilo²⁰ en su relato escrito describió situaciones muy generales de la actividad experimental; cuando se le hace la entrevista y se le pide que amplíe alguna situación concreta que le haya sido significativa en su proceso de formación, después de pensar un poco se ubica en una situación donde el protagonista del diseño de la actividad experimental es él mismo. Miremos algunos fragmentos de esta entrevista.

²⁰ Se han empleado nombres ficticios, para proteger la identidad de los participantes, en un intento por respetar la privacidad de los participantes, y respondiendo a las expectativas éticas de una investigación.

Profesor (P): Hay alguna actividad experimental que hayas tenido durante tu proceso de formación que por algún motivo quieras resaltar?

Camilo (C): Bueno hubo una sobre física de la luz, nos toco diseñar a nosotros un laboratorio que tratara de modelar o demostrar la ley de Shell. Pero en diferentes materiales...., y claro medir los ángulos, medir el coeficiente de refracción del material...Pero nos tocaba diseñarlo a nosotros, entonces, fue una actividad más interesante porque fuera que ya teníamos la temática, teníamos que tener muy, muy, bien el concepto, para poder saber qué elementos utilizar y en qué forma utilizar los instrumentos de medida, para poder evidenciar la ley de Shell en ese tipo de experimentos.

P: Y por qué resaltas a esta actividad sobre las otras?

C: Porque, no solamente fue llenar un informe, sino que fue más bien una construcción que uno tuvo que realizar en clase. No es simplemente, ¡ve éste es el laboratorio, éstas son las preguntas, éstos son los datos, acá van las conclusiones,... y por su puesto cuando a uno le dice el profesor que diga las conclusiones, él lo que espera es que uno le diga lo mismo que está en la fórmula pero en palabras y con los datos que hay... igual uno hace sus truquillos para organizar los datos e igual el profesor nunca lo va a percibir, porque para él desde que la teoría éste acorde con la practica va a ser perfecto.... Pero en esta si me gusta mucho por la característica propositiva del laboratorio. .

Similarmente Ana cuando se le pregunta por prácticas que considera significativas manifiesta algo similar. Miremos.

Ana(A)

A: Las practicas distintas a lo común han sido algunas, en la que uno mismo tenía que construir la guía,... hay esta el libro y nos daban los materiales y todo muy especifico... pero, uno tiene que construir la guía con sus propios objetivos y procedimientos, los resultados, ecuaciones, graficas... entonces todas eran distintas... Además, hubo un momento que fue bueno porque se discutían luego de que se hiciera, la entregábamos , se calificaba, pero había una discusión de grupo cuando se entregaba, y así uno podría apreciar mas el trabajo de nosotros como estudiantes, porque, un grupo hacia cosas muy distintas a las que hacia el otro, uno podría ver otras posibilidades...

Esto resulta interesante en la medida que refleja un interés del estudiante cuando se le involucra en sus propios procesos de construcción del conocimiento. El hecho de involucrarlos con el diseño de actividades experimentales es hacerlos

participes de la construcción del conocimiento, develando además la riqueza social, diversidad, y por tanto alternativas de trabajo.

Complementariamente a estos aspectos relacionados con la actividad experimental considerados significativos para los estudiantes, la implementación de la propuesta didáctica también pone en evidencia avances en el proceso de organización del fenómeno eléctrico y en las estrategias de conocimiento desplegadas con tal intención, ejemplificaremos este aspecto con lo que se denominan las formas de electrificación y con la idea de interacción eléctrica.

En este sentido se ha venido mencionando que, la forma usual en la que los libros texto presentan la electrificación por inducción no ayuda a entender la interacción eléctrica, pues, este es un proceso para lograr mantener un estado de electrificación en un sistema, por consiguiente se construyen ideas respecto de la interacción eléctrica entre cuerpos electrificados, y cuerpos neutros pues, desde este punto de vista solo hay electrificación en un sistema si en este puede permanecer un estado de electrificación, independientemente de que un sistema presente las características de uno que este electrificado.

Al respecto se considera pertinente proponer experiencias para reflexionar sobre el proceso de electrificación por inducción, y actividades que propendan no solo por, construir la idea de interacción eléctrica solo entre cuerpos electrificados, sino también, fortalecer la perspectiva fenomenológica al independizar los efectos de sus causas.

La electrificación por inducción resulta ser, en este sentido, un elemento clave no solo porque ayuda a comprender la idea de interacción eléctrica, sino también porque ayuda a configurar y fortalecer una perspectiva fenomenológica para la enseñanza de la Física. Cuando al estudiante se le pone a analizar los efectos presentados por cuerpos electrificados sin tener, la posibilidad de identificar las causas que generaron tal electrificación en éstos (ver guía Número 2). Se resaltan respuestas como las siguientes.

“Las tres formas de electrificación no son porque necesariamente sólo existan esas tres, es debido a que son estas de las que se tienen evidencia... luego no necesariamente son las únicas formas de electrificar un cuerpo. Las diferencias que existen entre estas formas de electrificación es la forma física en la cual el cuerpo queda electrificado, pero la regularidad es que independiente de la forma en la que se electrifique, el elemento quedara electrificado indistinguiblemente de la fuente de electrificación, esto es si electrificamos un elemento, no será imposible determinar cómo fue electrificado... En la primera parte de la actividad donde yo pongo en contacto un elemento electrificado con un cuerpo y veo que queda electrificado, pero que si solo acerco sin contacto un elemento electrificado también veo que el segundo cuerpo

queda electrificado... esto lo que me muestra es que para que un cuerpo se electrifique no necesariamente debe existir un contacto físico con el elemento electrificados, ahora no tengo muy claras las diferencias entre las diferentes formas de electrificación.

Obsérvese que, después de realizar y analizar estas actividades, es claro que desde una perspectiva fenomenológica (que centra su atención en los efectos y no en las causas) no se puede diferenciar entre una electrificación por contacto y una electrificación por inducción. Esto lleva a que el estudiante cuestione los usuales “modelos” que traten de explicar el proceso de electrificación, como el de partículas; es decir que se pregunte si la electrificación es debida o no a la transferencia de electrones, pues un tal modelo explicaría el proceso de electrificación por contacto, pero es más compleja su adopción para el caso de la inducción.

Por otro lado, la actividad permite entender la electrificación por inducción sin necesidad de que exista un contacto con la tierra, fortaleciendo de esta manera la idea interacción eléctrica, al tener elementos para reconocer que si hay interacción eléctrica es porque ambos sistemas se encuentran electrificados. En este sentido, la experiencia típica de electrificar un cuerpo por fricción, y luego acercarlo a trozos livianos de algún material observándose una atracción, es explicada debido a que estos pequeños trozos se electrificaron, pues de no ser así, no se presenta ninguna atracción. Miremos un poco cómo explica en un debate la experiencia de acercar un cuerpo electrificado a pequeños trozos de papel.

P: ¿existe la posibilidad de que un cuerpo electrificado interactúe con uno que no está?

C: esa es la cuestión. Está bien, la barrita está cargada, pero el papelito no, pero cuando yo acerco la barrita el papelito se electrifica y empieza a interactuar. Sucede lo mismo con el fenómeno magnético la aguja no está magnetizada, le acerco el imán, se magnetiza y gira.

En este punto también se resalta, la interacción entre sistemas de la misma clase, como aspecto transversal a la enseñanza física y de ahí su relevancia en la enseñanza de la misma, pues, como se deja ver en el fragmento, la interacción eléctrica se presenta entre cuerpos electrificados, así como, la interacción magnética sucede entre sistemas magnetizados, y se podría extrapolar a otros fenómenos como el térmico o el gravitatorio. Además, se construyen aspectos relevantes para la construcción del potencial eléctrico, en la medida en que posibilita el explorar las condiciones para que se dé la interacción eléctrica.

Por otro lado, en estos comentarios también se puede percibir la independización entre los efectos y las causas que los producen. Esto ayuda a concentrar el análisis en los efectos y las reflexiones giran en torno a ellos, desplazando el interés por el análisis de las causas que los producen para otro tipo de trabajos.

De esta manera, se propicia un ambiente en cual se concentra la intención en la construcción y análisis del fenómeno sin preocuparse por modelos que dan cuenta o no de este.

Pese a que las actividades iniciales propendían por descripciones, las exploraciones y por aumentar las experiencias que dan pie a la construcción del fenómeno eléctrico. A través del estudio de los cuerpos electrificados y no en las causas que lo producen. Se marcó una gran tendencia por parte de los estudiantes en la construcción de explicaciones de las causas de tales efectos. Tales explicaciones se construían recurriendo, en particular, al modelo de partículas.

En casos de electrificación por frotación, por ejemplo, los estudiantes manifestaron la necesidad de explicar el hecho a través de la existencia de una transferencia de electrones entre los cuerpos, y de manera que un cuerpo se encuentra electrificado cuando tiene un exceso o un defecto de electrones. Sin embargo se percibe que mantener la coherencia de este modelo no es sencillo, por ejemplo preguntas como cuál cuerpo perdió y cuál ganó electrones, o qué le pasa a los átomos de un material cuando ganan o pierden electrones, no fueron sencillas de responder. Estas preguntas y reflexiones permitieron acordar el aplazamiento de los modelos para después de revisar y ampliar las bases fenomenológicas correspondientes.

Procesos de abstracción y representación

Otro momento a resaltar, en la implementación de las actividades didácticas lo constituye los procesos de abstracción y representación del fenómeno eléctrico implicados en la construcción de magnitudes asociadas a dicho fenómeno. Involucrar al estudiante en los procesos de construcción de magnitudes, resulta importante en la medida que lo acerca a la actividad misma de construcción de conocimiento y porque le ayuda a comprender algunos conceptos abstractos como el de cantidad de electrificación.

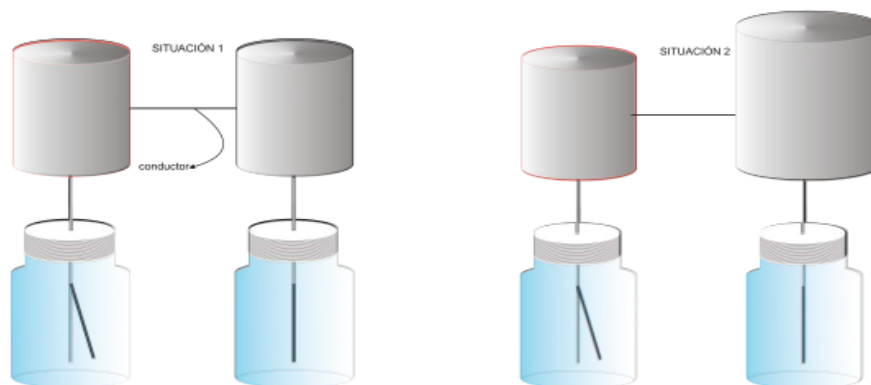
Se considera en este sentido, que construir experiencias que brinden elementos para reflexionar sobre conceptos estructuradores como el de equilibrio y estado eléctrico, es de fundamental relevancia y trascendencia en la construcción del conocimiento Físico. En particular, el análisis de situaciones de conductores electrificados interactuando con otros conductores, posibilita la reflexión sobre las condiciones para la conducción eléctrica y por tanto para la idea de equilibrio y estado de electrificación. Concretamente, tal y como sucede en otros fenómenos como los térmicos en donde no es la cantidad de calor lo que determina el equilibrio, sino la temperatura, en el caso eléctrico no es la cantidad de electrificación la que determina el equilibrio, sino lo que conocemos como

potencial eléctrico en donde esta magnitud representa el estado de electrificación de un sistema.

Véase a continuación el desarrollo de esta idea en la implementación con los profesores. A los participantes se les propuso la siguiente actividad:

ACTIVIDAD N°1

Se dispone de dos recipientes metálicos uno de ellos se encuentra electrificado, como se muestra en la figura. Si este se coloca en contacto por medio de un cable conductor con el segundo recipiente metálico.

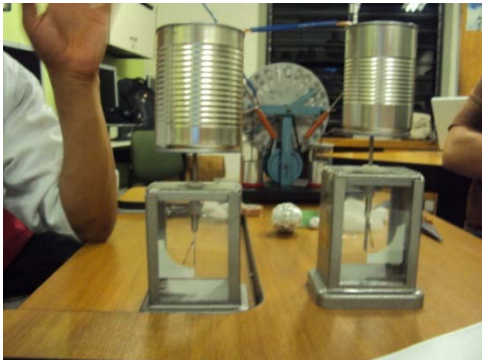


Deberíamos esperar que ambos recipientes cambiasen su estado de electrificación. Describa como serian estos cambios en las siguientes dos situaciones.

El recipiente que inicialmente estaba sin electrificación fue electrificado y podría plantearse que por medio del cable conductor hubo conducción. Cuales son las características que hace que se inicie y cese la conducción en cada una de las dos situaciones.

Figura 34. Actividad sobre la conducción eléctrica

Lo primero que hay que resaltar es que pese a que se facilitaron los materiales y se sugirió un esquema como el que se muestra en la figura, hay muchos detalles de orden técnico que se tuvieron que resolver para poder realizar la experiencia propuesta. Se pudo evidenciar en la experiencia que en el caso de los recipientes de igual tamaño la deflexión en el electroscopio era lo suficientemente aproximada, para que se considerara que se trataba de la misma abertura.

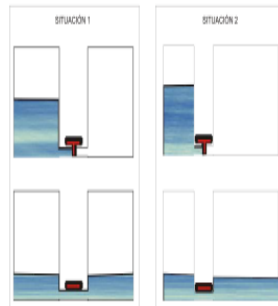


Fotografía 1 Aberturas en electroscopio.

En el caso de los recipientes de diferente tamaño, la abertura de uno disminuía y el otro aumentaba, y este proceso cesaba, de tal manera que las aberturas del electroscopio eran distintas ver fotografía 1. La discusión se generó en torno a esta última parte de la actividad, pues se presentó incertidumbre frente a las condiciones que hace cesar la conducción. Si bien la hipótesis que surge inicialmente es aquella que afirma que lo que se equilibra es la carga eléctrica. El análisis comparativo con una situación de mecánica de fluidos permitió cuestionar tal hipótesis a favor del establecimiento de otra magnitud diferente a la cantidad de electrificación (ver ilustración, guía Número 4). Complementariamente se propone una actividad similar pero esta vez los dos recipientes se encuentran electrificados y con la misma cantidad de electrificación ver ilustración.

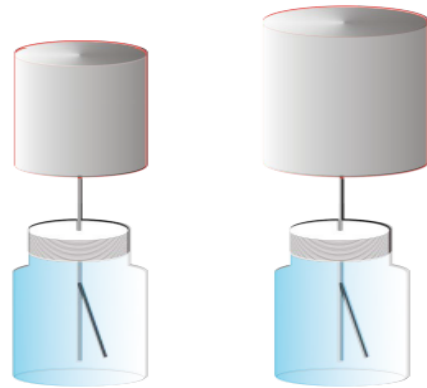
Compare el análisis de estas dos situaciones. con situaciones análogas en la mecánica de fluidos.

Que podemos decir de las cantidades de electrificación en cada uno de los recipientes después del contacto en ambas situaciones.



Compare la cantidad de electrificación en los recipientes que inicialmente estaban sin evidencias de electrificación en ambas situaciones.

Si tenemos dos recipientes como se muestran en la figura, que mediante el electroscopio de de Guerra se determino que la cantidad de electrificación en ambos recipientes metálicos es la misma, y luego estos se colocan en contacto mediante un cable conductor. ¿Qué se puede decir del estado final de electrificación de los cuerpos y de la conducción por este cable?

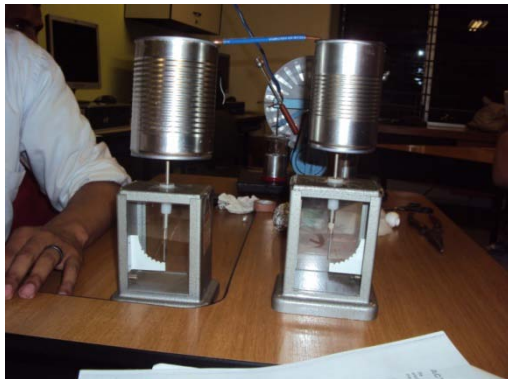


De las experiencias anteriores, ¿Que podemos decir del equilibrio electrostático?, ¿Que es lo que se equilibra? Que papel juega la cantidad de electrificación con respecto a la condición final de equilibrio.

A esa cualidad que no es cantidad de electrificación, y que determina el estado de equilibrio de los sistemas anteriores la denotaremos potencial eléctrico.

¿Si un conductor está en condiciones electrostáticas es decir no hay conducción en este. Se podría afirmar que la superficie del conductor esta al mismo potencial eléctrico y en consecuencia considerarla como una superficie equipotencial?

Figura 35. Actividad sobre la interacción eléctrica



Fotografía 2.interacción entre conductores electrificados

Se resaltan en esta actividad dos aspectos importantes que se describen a continuación. El primero es que se retoma una discusión pasada de cómo lograr electrificar dos cuerpos con la misma cantidad de electrificación. Para algunos de los estudiantes este punto no era lo suficientemente claro. Este constituía un acuerdo realizado anteriormente, el cual se basaba en asegurar el mismo

procedimiento de electrificación y luego corroborarlo con situaciones experimentales, por ejemplo empleando el electroscopio propuesto por Guerra (1985). El segundo consiste en realizar la actividad. Uno de ellos dice “hagámoslo con recipientes iguales” Esta propuesta resulto ser clave porque además de suplir una inquietud de ellos, se convirtió en una experiencia referente para el resto del trabajo: al realizarla no hubo cambios perceptibles en las deflexiones de los electroscopios, y ello se explicó por el hecho que tenían la misma cantidad de electrificación. Resulta conveniente resaltar en este punto que: en los textos comunes en donde se tratan estos aspectos se limitan a decir que cuando genera la misma deflexión en el electroscopio entonces tienen la misma cantidad de electrificación, pero como se logra electrificar dos cuerpos de forma que generen la misma deflexión en el electroscopio.

Por ejemplo maxwell dedica uno de sus experimentos iniciales a presentar un proceso que garantiza por lo menos teóricamente un criterio para la igualdad. Bueno, durante la implementación también fue necesario construir un criterio por lo menos teórico que garantizara que dos cuerpos quedaran electrificados con la misma cantidad de electrificación. este proceso se resumió en lograr someter dos cuerpos a procesos similares que garantizaran tal igualdad, por ejemplo el numero de vueltas que se le dan al generador, sin embargo este criterio es insuficiente si, mediante un instrumento no se puede establecer tal correspondencia digamos con la deflexión de un indicador, es decir, que en el campo teórico se puede avanzar, pero debe de haber una necesaria correspondencia con la experiencia, y esta sucede a través de los instrumentos y procesos asociados a él.

Por otro lado, al realizar la actividad propuesta en la guía, en donde se suponía que ambos recipientes tenían la misma cantidad de electrificación, sin embargo se presento una conducción evidente. Esta secuencia de procedimientos y reflexiones conduce a los estudiantes a convenir que la condición de equilibrio (no conducción) no es la igualdad en cantidad de electrificación y lo que marca el electroscopio en estas circunstancias es otra propiedad del fenómeno.

Esta secuencia de procedimientos y reflexiones pone en evidencia el hecho que el conocimiento es una construcción colectiva, social. Por una parte, la elección de una organización en particular de la experiencia se hace bajo ciertos criterios previamente consensuados por el grupo.

Por otra parte, tales consensos pasan a ser una sensación individual, a convertirse en lo que podría llamarse una sensación colectiva, es decir, para construir una representación adecuada del fenómeno, es necesario identificar regularidades, construir símbolos y poder comunicar tal constructo; de ahí que se deba asumir la existencia de experiencias y situaciones compartidas, como es el caso de las condiciones de equilibrio. Como se menciono en el capítulo I, parte del problema en el aula es asegurar que algún grupo de sensaciones (realmente estables) sean compartidas por algún grupo de individuos, es decir, garantizar

que un grupo de personas frente a una situación determinada, en este caso la eléctrica, acuerdan ciertos consensos en lo que perciben en determinadas circunstancias.

Sobre la actividad experimental y en el proceso de cuantificación del potencial eléctrico

Adicionalmente a los aspectos anteriormente tratados, la implementación permitió adelantar una reflexión sobre el papel que desempeña la experimentación, y en ella el uso de instrumentos y procesos de medida en la organización del fenómeno eléctrico y sobre los diferentes procesos asociados a él. Se asume como propósito de este enfoque, fortalecer la idea del instrumento y procesos asociados a él como un campo que posibilita el nexo entre la experiencia y las construcciones conceptuales.

Con base en lo anterior, se pretende que con las diferentes actividades, con la construcción conceptual y con los conocimientos que se tienen del fenómeno eléctrico, en un momento en dado, se diseñen procedimientos y modificaciones en el instrumento, posibilitando otras formas de relacionamiento con el fenómeno y poder ver la experiencia con nuevos ojos, hecho que a su vez amplía la conceptualización que se tiene de este fenómeno.

Un ejemplo de esto se representa en el siguiente fragmento tomado de la guía de intervención Número 5:

A continuación se propone la siguiente experiencia mental en primer lugar, situación 1, imagínese que en la anterior situación el recipiente pequeño se hace cada vez más pequeño, ¿se podría mantener la conclusión anterior sobre el equilibrio electrostático? Justifique.

Y si lo hacemos tan pequeño que pueda considerarse una línea o un punto se podrían mantener las conclusiones respecto al equilibrio? Justifique.

En segundo lugar, situación 2, si los dos electroscopios que se encuentran a la base del recipiente son los mismos y marcan la misma condición de equilibrio, no habría necesidad de los dos bastaría con uno para dar cuenta de este equilibrio.

Situaciones a las que alguno de los estudiantes respondieron:

- Si el recipiente pequeño se hace cada vez más pequeño igual si se podría mantener la conclusión sobre el equilibrio electrostático porque lo importante allí no es el tamaño de los recipientes sino que exista una diferencia entre los estados de electrificación entre ambos.
- Seguro si es posible mantener las mismas conclusiones respecto al equilibrio electrostático haciendo uno de los recipientes tan pequeño como se quiera y llevándolo hasta el extremo de convertirlo en una línea o punto porque igualmente se ha visto que y llegado a la conclusión que lo que hace posible el estudio del potencial es que haya

un sistema en el cual se dé una diferencia entre la cantidad de electrificación entre distintos cuerpos, más que entre el tamaño.

De estas conclusiones es importante de resaltar el hecho de que se está dando cuenta de características y comportamientos particulares de la situación, lo que posibilita de igual forma una comprensión del instrumento y de sus posibles modificaciones a la vez que un enriquecimiento del campo conceptual que permite avanzar en la construcción del fenómeno, es decir, se genera la posibilidad de ver una característica, aspecto que significa que existe un entramado conceptual previo bastante amplio y previamente consensuado y validado.

Sin duda, al ser la física una ciencia de carácter experimental, tal dimensión juega un papel fundamental a la hora de enseñarla. La propuesta didáctica diseñada y su implementación también contribuyeron a configurar un punto de vista crítico sobre el papel de la experimentación en la construcción del conocimiento físico. Veamos algunas opiniones de los estudiantes a propósito del relato del episodio (ver anexo N°1), en una entrevistas realizada al comienzo de la aplicación, cuando se le solicita ampliar o explicar las respuestas dadas.

Paula (P): usualmente el laboratorio simplemente se limita a hacer una actividad en la que no se sabe realmente qué es lo que está ocurriendo... después se va a comprender un poquito el concepto por otros medios, como analizando ejercicios, o una lectura con más tiempo, pero no en el laboratorio...

o como lo expresa otro de los maestros en formación en un relato al respecto de la actividad experimental:

A: Las actividades experimentales pueden cumplir diferentes tipos de funcionalidades... Durante el proceso de nuestra formación como maestros se han empleado estas actividades de forma pasiva y simplemente como un medio de verificación de una teoría dada de forma anticipada; de esta forma se tiene un fin último en estas actividades el cual es llegar a los datos numéricos según el modelo matemático trabajado en los espacios de conceptualización (cursos) se tiene.

Por el contrario, la perspectiva experimental propuesta, fundamentada en un enfoque histórico epistemológico, permite que los estudiantes sean agentes activos en la construcción de su conocimiento. Por ejemplo, el hecho de que ellos mismos puedan dar cuenta de algunas características o comportamiento de los elementos o materiales empleados en las experiencias propuestas o sugeridas, implica un alto compromiso en el fenómeno que se está abordando, derivándose también una mayor y mejor comprensión de conceptos que se quieren construir.

Los grupos de discusión generados a partir de la misma actividad experimental, posibilitan esclarecer las dudas suscitadas en la misma actividad experimental. Tal y como se percibe en los siguientes fragmentos tomados del debate de cierre de la implementación

P: durante la actividad experimental, hubo cosas que no nos quedaron clara..., pero durante la discusión, aclaramos las dudas.

Al respecto, la siguiente transcripción de un fragmento del audio de cierre, recoge la opinión de una estudiante.

Desde mi experiencia yo decía que primero debía ser la teoría antes de la práctica... quizás no se puede decir si hubo una antes y luego otra, pero sí, que su desarrollo se da muy paralelo y que el avance de uno se da en la medida del avance del otro sin establecer un orden de jerarquía... ,en cuanto al hecho de ir construyendo un concepto, el hacer es lo que a uno le lleva a la conceptualización, en la medida que se propone la práctica se permite el desarrollo de la teoría

A la misma pregunta responde otro estudiante:

Yo creo que primero se da la practica... pero no de ultimo la teoría, sino que en el camino se va dando la teoría paralela con la práctica y alimentándose una de la otra

Es de resaltar que si bien el material didáctico diseñado se constituye en una propuesta previa a la implementación, éstas actividades no son estáticas en el proceso; durante y después de cada uno de los momentos de implementación se hacen plenarias, que no solo permite recoger y consensuar algunas reflexiones particulares, y sobre todo, enriquecer y modificar las guías mismas. Al respecto, plantea uno de los estudiantes en la discusión de cierre:

Durante las guías de laboratorio nosotros mismos nos preguntábamos qué pasa si modificamos esto; cuáles pueden ser las variaciones y de qué manera afectan los resultados que se esperan que suceda. Mire que cuando uno va a hacer un montaje, uno ya espera que suceda algo, entonces uno va cogiendo cosas de atrás y en el camino vamos disponiendo de todo para ver que va pasando y de qué manera vamos avanzando...

En este sentido se evidencia las posibilidades que se abren cuando el estudiante se involucra con la construcción de su conocimiento, pues existe todo un entramado de posibilidades de poner en juego sus conocimientos previos y los de sus compañeros, tanto académicos como aquellos adquiridos en su cotidiano, con el fin de expandir su organización, comprensión y construcción de ese conocimiento que pretende.

CAPÍTULO IV

4. UNA PROPUESTA PARA EL TRABAJAR LA MAGNITUD POTENCIAL ELÉCTRICO DESDE UN ENFOQUE FENOMENOLÓGICO

A continuación se presentarán las guías que obedecen al material didáctico que se concibe como una posibilidad de abordar el asunto de la enseñanza de la física, tanto a nivel de educación media como en los cursos presentados en las facultades de ingeniería y en particular a los profesores en formación de las diferentes facultades y programas de educación en física.

Cabe aclarar que estas guías son una propuesta que surge como producto de una reflexión disciplinar histórico y epistemológica desde un enfoque fenomenológico, y que no se pretende de ninguna manera aseverar que ésta es la forma adecuada de presentar la actividad experimental en los cursos de física.

Estas guías son la imagen de lo que en el trabajo de investigación realizado propone a la hora de abordar un fenómeno en particular, en este caso, un acercamiento a la construcción de la magnitud del potencial eléctrico. Para ello se comienza con un proceso de exploración de los materiales, pues el conocimiento del comportamiento de estos, es necesario a la hora de abordar el campo de la experimentación y más si se trata de la electrostática.

En segundo lugar, se procede con la identificación de algunas características en torno a la electrificación de los cuerpos, a fin de poder establecer relaciones de orden entre ellas para así lograr la cuantificación de la magnitud cantidad de electrificación. Y finalmente mediante un proceso de cuantificación de magnitudes intensivas, lograr mostrar que el potencial eléctrico es una cualidad susceptible de ordenar y de cuantificar, y que por tanto puede ser considerada como una magnitud que da cuenta del estado de electrificación de un cuerpo.

POLÍTICA DE OPERACIÓN DE LA PROPUESTA

La guía que se presenta a continuación, se fundamenta en una concepción de la enseñanza de las ciencias en la cual la actividad experimental y las construcciones conceptuales no se pueden separar. Donde la construcción de fenómenos y los procesos de cuantificación de magnitudes a estos, se consideran aspectos de suma relevancia en la construcción social y cultural del conocimiento físico en el individuo.

Se presentan entonces cinco sesiones, cada una con un objetivo concreto, pero flexible, entre tanto responde a múltiples necesidades con respecto al trabajo conceptual y experiencial de la magnitud potencial eléctrico desde un enfoque fenomenológico.

Cada actividad incluida dentro de las sesiones tiene un matiz flexible, el cual permite a los educandos y a los docentes, abordar temas, ejercicios y materiales de una forma libre y siempre abierta a nuevas experiencias que coadyuven a elaborar representaciones y organizaciones del fenómeno eléctrico a partir de la construcción de magnitudes asociadas a este tipo de fenómenos.

SESIÓN 1

EXPLORACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LOS FENÓMENOS ELÉCTRICOS

*“Una de las principales enfermedades del hombre es su inquieta curiosidad por conocer lo que no puede llegar a saber.”
Blaise Pascal*

OBJETIVO GENERAL

Iniciar un proceso de conceptualización y posteriormente de contextualización del fenómeno eléctrico, a fin de avanzar en la construcción y entendimiento de éste y de la forma en que se logra.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Recoger algunas reflexiones entorno la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias, a través de la construcción de relatos.

Ampliar el conjunto de experiencias relacionadas con los fenómenos electrostáticos, mediante el análisis de situaciones relacionadas con este fenómeno.

Explicitar algunos elementos propios de la actividad de organizar el fenómeno electrostático.

JUSTIFICACIÓN

Entender un fenómeno físico resulta ser el producto del aprehendizaje, el mismo que se logra no solo cuando se visualiza, sino cuando se puede explicar desde su mismo origen, sus causas y consecuencias.

Sobre este ideal se fundamenta la sesión, entre tanto cada una de las actividades incluidas, reafirma la importancia de reconstruir los fenómenos eléctricos desde

una perspectiva altamente dinámica, crítica y sobre todo propia. Ver anexo A. Preámbulo a la sesión.

MATERIALES

Materiales: cartulina, un alfiler o aguja, tijeras o bisturí. Se debe construir un dispositivo parecido al de la figura 36. Se sugiere que el alfiler atraviese el indicador de cartulina por su centro de masa, y que las dos columnas que sostienen el alfiler estén a la misma altura.

MOMENTOS ORIENTADORES DEL TRABAJO

ACTIVIDAD N°1

Indicaciones para el relato

Describa una actividad experimental que haya realizado durante su proceso de formación o con sus estudiantes, si ha tenido la oportunidad de ejercer, en temas relacionados con el fenómeno eléctrico, desde su planeación, intenciones y fundamentos. Luego enumere secuencialmente todas las cosas que sucedieron hasta el final de la actividad experimental.

Si no ha trabajado esta temática, escoja otra. No se restrinja por el número de páginas, utilice las que considere necesarias.

ACTIVIDAD N°2

En varias investigaciones realizadas en torno a la actividad experimental, se ha considerado que las prácticas de laboratorio se utilizan para: motivar a los estudiantes, verificar los conocimientos teóricos, aprender a manipular instrumentos, adquirir destrezas de medición, aprender a obtener resultados correctos, demostrar leyes y relaciones, desarrollar referencias conceptuales aplicadas al quehacer experimental.

Teniendo en cuenta lo anterior, y tomando como base una escala de 0-5, siendo 5 muy utilizado y 0 poco utilizado, indique el grado de utilización de cada uno de estos aspectos en la descripción de la actividad experimental antes relatada. Consigne las observaciones referentes a la valoración asignada.

En su relato, la actividad experimental se emplea para:

- Favorecer el ambiente en el aula y motivar a los estudiantes.
- Verificar los conocimientos teóricos.
- Aprender a manipular instrumentos.
- Adquirir destrezas en la medición de magnitudes.
- Aprender a obtener resultados correctos.
- Avanzar en el desarrollo conceptual.
- Como una actividad de construcción conceptual y reflexión teórica.
- Otra. Cuál.

A partir de estas reflexiones enuncie cómo concibe la actividad experimental en la enseñanza de la Física.

ACTIVIDAD N°3

Es usual en el estudio de la mecánica, o la termodinámica entre otras, disponer previamente de un conjunto de experiencias con cierto grado de organización funcional para la vida cotidiana. En el caso de la mecánica se cuenta con todo un conjunto de experiencias y formas particulares de organizarla funcionalmente en tanto que hay una correspondencia entre las predicciones y parte de la realidad, por ejemplo, en un viaje, se sabe que entre más largo sea el recorrido más tiempo se requiere para el viaje, o si se aumenta la rapidez del vehículo, se reduce el tiempo de llegada.

En el caso de los fenómenos térmicos los sentidos han permitido recoger experiencias en torno a este fenómeno y organizarlas de cierta manera para que sean funcionales en la cotidianidad, por ejemplo, si se tienen percepciones de frío y caliente y además, se puede determinar que si se requiere un calentamiento, una cantidad mayor de agua, se requiere más gas, o más exposición a la parrilla.

Cuando se trata del estudio de la electrostática parece ser que este conjunto de experiencias es muy reducido o prácticamente nulo. Posiblemente esto se debe a que no se dispone de un órgano que detecte algún estado de electrificación y en consecuencia cualquier experiencia electrostática

es perceptible a través de elementos externos, reduciendo drásticamente el número de experiencias electrostáticas en la vida.

Aclaraciones

- En el caso de los fenómenos eléctricos, en particular la electrostática, se conoce en parte por el paso por la academia.

Mencione dos ejemplos simples en los cuales se pueda identificar la electrificación de un cuerpo, ¿Cuál es el papel de los sentidos en este ejemplo? En el caso de los fenómenos térmicos es suficiente con el tacto para empezar a ordenar los cuerpos, dígame del más caliente al más frío, ¿Alguno de los sentidos permite empezar la organización de los cuerpos electrificados, cual sería este y por qué?, si no lo hay ¿Que se debería hacer para comenzar a ordenar estos cuerpos electrificados?

- Usualmente al empezar las reflexiones sobre los fenómenos eléctricos, se realizan actividades que consisten básicamente en frotar de algunos cuerpos, acercarlos a pequeños trozos de papel o similares, y experimentar con esto la atracción debido a la electrificación del cuerpo frotado.

Responda entonces, ¿Cuáles son los aspectos que usted considera más relevantes de esta actividad? ¿Por qué?

- La experiencia con este tipo de actividades, permite afirmar que hay materiales más difíciles de electrificar por frotación que otros (por ejemplo, el vidrio y el metal).

Ahora, con base en lo anterior responda, ¿Qué recomendaciones daría para que este tipo de experiencias tenga éxito en estos materiales y por qué?

- Una crítica usual respecto a estas actividades de electrificación por frotación, es que los estudiantes normalmente no se forman la idea de que este proceso de electrificación por frotación es una interacción, sino que es un cuerpo el que se frota y por tanto solo uno se electrifica.

Además no se le da relevancia a los materiales frotados, muy posiblemente a la forma como se les propone la actividad.

Teniendo claro lo previamente dicho, consigne sus observaciones pertinentes a esta crítica, y diseñe o plantee una actividad experimental que propenda por una exploración más amplia que incluya el frotamiento de materiales iguales.

- En la organización de este tipo de experiencias electrostáticas que tan útil o necesario es disponer de un identificador electrostático, puesto que no disponemos

de ningún sentido que lo haga. Podría describir el funcionamiento de algún tipo de indicador utilizado hasta el momento.

Para este tipo de actividades de organización de experiencias en torno a los fenómenos electrostáticos, resulta conveniente disponer de un indicador lo suficientemente sensible para lograr identificar el estado de electrificación de los cuerpos.

Si conoce alguno, puede proponerlo y trabajar a partir de este. O si lo prefiere construya el propuesto. Ver figura 36.

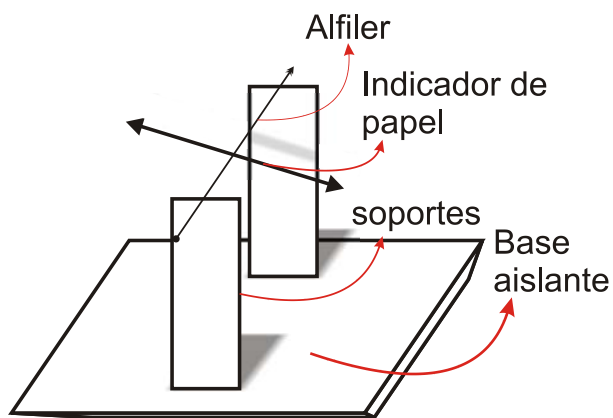


Figura 36. Indicador electrostático

Describa las ventajas de disponer de un identificador más sofisticado, podría explicitar los conocimientos necesarios en la construcción de este identificador.

Es común encontrar en los libros texto, que se enuncie la existencia de dos tipos de carga, asociados a dos tipos de efecto: el de atracción y el de repulsión. Diseñe una experiencia para determinar que dos cuerpos se encuentran electrificados y además tienen diferente clase de electrificación.

¿Que tipo de experiencia podría proponer para la identificación de sólo dos tipos de carga?

Es conocido que cuando se frota dos cuerpos como lana y resina, o vidrio y piel de gato, los cuerpos quedan electrificados con clases distintas, la resinosa o vítrea, denominadas posteriormente negativa o positiva respectivamente. Pero ¿De qué depende que el vidrio quede cargado positivamente? ¿Será posible mostrar con alguna experiencia que un material al ser frotado no siempre quede cargado positivamente, y pueda electrificarse indistintamente con las dos clases de electrificación?

SESIÓN 2

FORMAS DE ELECTRIFICACIÓN

“La mayor parte, si no todas, de las dificultades que han entretenido hasta ahora a los filósofos y que han obstruido el camino del conocimiento se deben por entero a nosotros mismos. Hemos empezado por levantar una polvareda, y después nos quejamos de que no podemos ver.”

Berkeley

OBJETIVO GENERAL

Concentrar el interés en las formas de electrificar un cuerpo, y la relevancia de éstas en la organización del estudio de la electrostática.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recoger algunas reflexiones entorno la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias, a través, de grupos de discusión.
- Ampliar el conjunto de experiencias relacionadas con los fenómenos electrostáticos, mediante el análisis de situaciones relacionadas con este fenómeno.
- Representar algunos elementos propios de la actividad de la electrificación de cuerpos.

JUSTIFICACIÓN

Hasta el momento se ha evidenciado una concentración en algunos aspectos del fenómeno de la electrificación, como los tipos de efecto, las clases de electrificación, la relevancia de producir buenos contactos entre diferentes materiales, entre otros. A continuación se hará énfasis en las formas de electrificar un cuerpo, y la relevancia de estas formas en la organización del estudio de la electrostática, entre tanto representa un ejercicio en el que se posibilita construir y entender el fenómeno, a partir de la experiencia y de la visualización del fenómeno como una parte primordial para el aprendizaje.

ACTIVIDAD N°1

Normalmente cuando los textos abordan el tema de la electrificación, se identifican tres formas de electrificación: contacto, conducción, e inducción ¿Cómo argumentaría usted, que se trata tres formas diferentes, de producir el mismo fenómeno? Si comparamos los tres métodos ¿Qué diferencias o regularidades encuentra?

Sería conveniente en este momento del trabajo contar con una forma de magnificar los efectos electrostáticos, esto se puede lograr a través de diferentes dispositivos, como las llamadas botellas de Leiden, el generador de Van de Graf, el generador de Wimshurst, el Electróforo, entre otros.

Analice la siguiente secuencia de experiencias. Considere un sistema **A** formado por un conductor y una lámina aislante como se muestra en la figura 2.

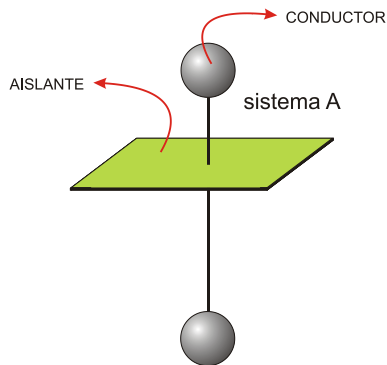


Figura 37. Sistema A

Utilice cualquiera de estos generadores electrostáticos, para cargar por conducción el sistema A. corrobore la electrificación del sistema acercando el indicador a la parte inferior del sistema. Ver figura 38.

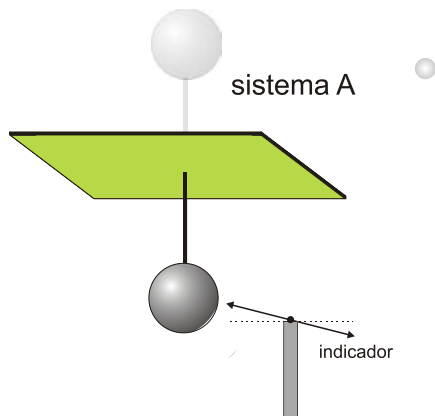


Figura 38. Sistema “A” electrificado por conducción

Considere nuevamente el sistema A sin electrificación alguna, y acerquemos un cuerpo electrificado sin ponerlo en contacto, se puede evidenciar que el indicador se mueve como en el caso de la conducción ver figura 39.

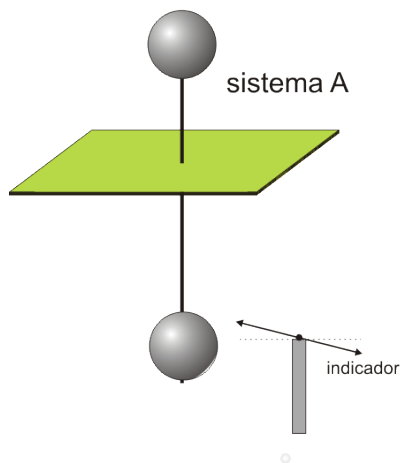


Figura 39. Sistema “A” Electrificado por inducción

¿Qué se puede decir de la electrificación del sistema A en esta circunstancia?

¿Qué diferencias y similitudes encuentra en los efectos producidos en el indicador entre la electrificación por conducción y esta situación?

A continuación, realice la siguiente actividad con un compañero. Disponga a uno de los integrantes del grupo de forma tal que solo pueda tener acceso visual a la parte inferior del sistema A.

Otro se encargara de hacer que el indicador se mueva como en las anteriores situaciones, el objetivo es que el primer compañero pueda diferenciar si la electrificación evidenciada por el indicador en la parte inferior del sistema es debida a que se ha puesto en contacto con un cuerpo electrificado, o si es debida a que existe algún objeto electrificado en las cercanías de la parte superior del sistema A. Ver figura 40.

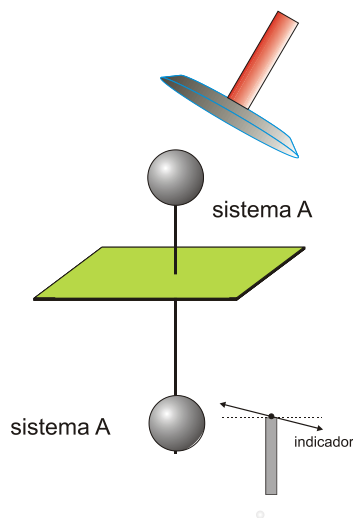


Figura 40. Electrificación por inducción

¿Qué puede decir el compañero que observa los efectos de las causas que lo generan?

¿Si el compañero que observa los efectos, no puede diferenciar las causas que lo producen, entonces se podría afirmar en ambas situaciones, que el sistema A se encuentra en un estado de electrificación?

¿Qué le aporta la anterior experiencia en cuanto su comprensión de los procesos de electrificación?

Diseñe una experiencia para explicarle a un grupo de estudiantes que los efectos observados en los cuerpos electrificados no cambian si cambia la forma en la cual se electrificaron.

ACTIVIDAD N°2

Un aspecto interesante de ser objeto de reflexión, es el papel del experimento en este proceso, en particular el papel del instrumento en la construcción de los fenómenos eléctricos.

¿Qué puede decir del papel del indicador eléctrico en esta primera actividad?

¿Qué tan relevante es para la enseñanza de la electrostática, involucrar al estudiante en este tipo de actividades de organización del fenómeno?

¿Qué elementos le aportan esta experiencia para empezar a introducir a los estudiantes en el estudio de la electrostática?

¿Cuál es el papel del sujeto o grupo de sujetos, en la construcción anterior?

ACTIVIDAD N°3

Por otro lado Maxwell, en su tratado de electricidad y magnetismo, en el experimento II, sostiene que se puede demostrar que la electrificación en el exterior del recipiente metálico, no depende de la ubicación del cuerpo electrificado en el interior. Y similarmente un cuerpo electrificado en el exterior del recipiente no afecta la electrificación del cuerpo que está en el interior.

Experimento II.3 Tome un recipiente abierto de metal suspendido por hilos de seda blanca y deje un hilo similar atado a la tapa del recipiente, de tal manera que el mismo pueda abrirse o cerrarse sin tocarlo. Tome trozos de vidrio y resina, similarmente suspendidos y electrificados como antes.

Sea el recipiente originalmente no electrificado, entonces si un pedazo de vidrio electrificado el suspendido en él por un hilo, sin tocar el recipiente, y la tapa es cerrada, se encontrará que el exterior del recipiente estará electrificado vítreamente y se puede demostrar que la electrificación en el exterior del recipiente es exactamente la misma en cualquier parte del espacio interior donde el vidrio está suspendido. Si el vidrio ahora es sacado del recipiente sin tocarlo, la electrificación del vidrio será la misma que antes y la del recipiente habrá desaparecido. Esta electrificación del recipiente, que depende del vidrio que está en su interior y que desaparece cuando el vidrio es sacado, se llama electrificación por inducción. Efectos similares se producirían si el vidrio fuese suspendido cerca del recipiente en el exterior, pero en este caso encontraríamos una electrificación vítrea en una parte del exterior del recipiente y resinosa en otra. Cuando el vidrio está en el interior del recipiente todo el exterior está vítreamente electrificado y todo el interior resinosamente.

SESIÓN 3

LA CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA ELÉCTRICA

***“Una de las principales enfermedades del hombre es su inquieta curiosidad por conocer lo que no puede llegar a saber.”
Blaise Pascal***

OBJETIVO GENERAL

Mostrar que una modificación del instrumento, permite una organización, el establecimiento de una unidad patrón y finalmente, la medición de la cantidad de electrificación de un cuerpo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recoger algunas reflexiones entorno la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias, a través de la construcción de relatos.
- Ampliar el conjunto de experiencias relacionadas con los fenómenos electrostáticos, mediante el análisis de situaciones relacionadas con este fenómeno.
- Explicitar algunos elementos propios de la actividad de organizar el fenómeno electrostático.

JUSTIFICACIÓN

Hasta el momento se ha utilizado el instrumento como un indicador del estado de electrificación de los cuerpos, en esta sesión se pretende mostrar que una modificación del instrumento permite una organización, el establecimiento de una unidad patrón y finalmente, la medición de la cantidad de electrificación de un cuerpo. En particular dicha modificación es intencionada y posible gracias a la reflexión y al análisis fenomenológico que hasta el momento se ha venido haciendo.

ACTIVIDAD N°1

A continuación, se explorara algunos aspectos de los conductores que resultarán de utilidad en la construcción de cualidades en este fenómeno.

Se dispone de un recipiente conductor con tapa, y de un objeto electrificado. Podrías describir lo que sucede con el indicador en cada una de las situaciones (S1, S2, S3 Y S4) que se muestran en la siguiente figura.

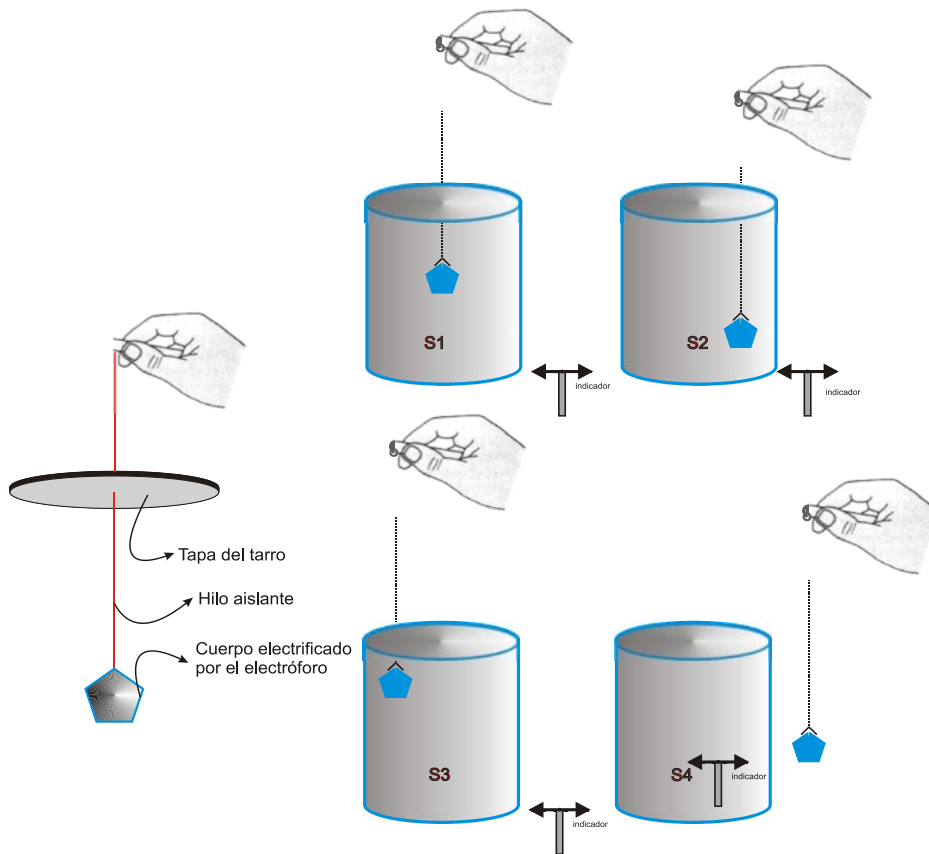


Figura 41. Situación problema

Considere ahora otras dos situaciones (S5 y S6). En S5, se deja que el cuerpo conductor electrificado toque el recipiente metálico en su interior y en S6, el cuerpo conductor electrificado toca el exterior del recipiente como se muestra en la figura de la situación problema 2.

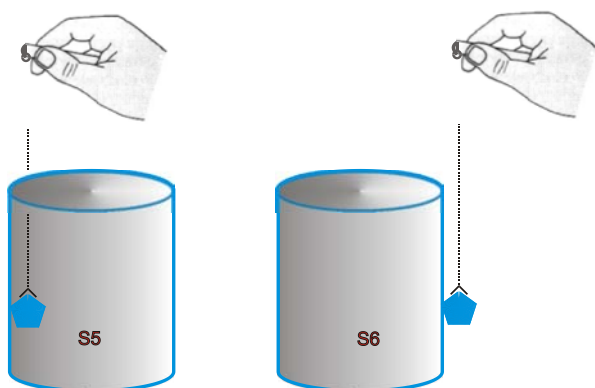


Figura 42. Situación problema 2

Diseña una actividad en la que se analice tanto lo que sucede con la electrificación del cuerpo introducido en el recipiente y lo que sucede con el recipiente en S5 y en S6. Así como también, lo que sucede con el estado de electrificación de ambos, cuando el cuerpo es retirado del recipiente.

Otro de los experimentos que propone Maxwell se presenta a continuación:

Experimento V: En el experimento II se mostró que si un trozo de vidrio electrificado por rozamiento con resina es introducido en un recipiente metálico la electrificación observada en el exterior no depende de la posición del vidrio. Si ahora introducimos el pedazo de resina con el cual el vidrio fue frotado, sin tocar ni el vidrio ni el recipiente, se encontrará que no hay electrificación fuera del recipiente. De esto concluimos que la electrificación de la resina es exactamente igual y opuesta a la del vidrio. Introduciendo cualquier Número de cuerpos electrificados de cualquier manera, se puede mostrar que la electrificación del recipiente es la debida a la suma algebraica de todas las electrificaciones, reconociendo como negativas a las resinosas. Tenemos así un método práctico de agregar los efectos eléctricos de varios cuerpos sin alterar su electrificación.

Teniendo en cuenta la propuesta que hace Maxwell, de qué forma orientaría una actividad en la que se realice una discusión reflexiva y crítica acerca de los pasos que propone Maxwell, especialmente.

Sugiera además una serie de dibujos que esquematicen el procedimiento que proponga.

Proponga una actividad análoga a la planteada en el experimento V, en donde primero, se remplace el recipiente metálico por un recipiente plástico, y segundo, en donde simplemente se acerquen cuerpos a un indicador sin necesidad de un conductor en el intermedio. Compare las situaciones.

¿Cuál cree que es el papel del recipiente metálico en el experimento V?

Realice un esquema que resuma las características de los metales y recipientes metálicos cerrados o abiertos. En aspectos relacionados con la electrificación.

ACTIVIDAD N°2

Según el trabajo realizado hasta ahora, se tienen un conjunto de experiencias organizadas, las cuales constituyen una base para referirnos en común al fenómeno de la electrificación de los cuerpos. Pero es conocido por todos, para avanzar en la organización de este fenómeno se construyen cualidades mucho más específicas.

Por ejemplo la carga eléctrica, la densidad de carga, el potencial eléctrico, y el campo eléctrico.

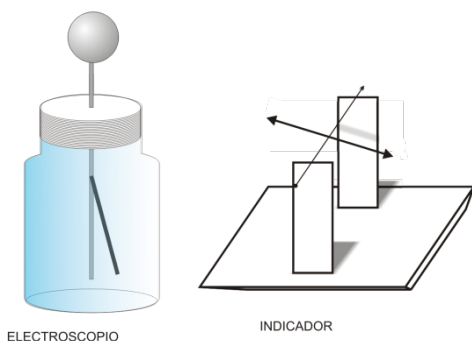


Figura 43. Indicadores eléctricos

Experimentalmente como podría empezar a establecer diferencias entre estas cualidades, de tal manera, que permitan su identificación en el fenómeno.

Compare el indicador inicial con un electroscopio y describa en detalle los aspectos que hacen pensar en ambos como indicadores que dan cuenta del mismo fenómeno.

Indique con la longitud de un segmento en cada una de las siguientes situaciones, el desplazamiento de las hojas del electroscopio.

¿Qué tipo de cualidad se está determinando con estos segmentos (carga, potencial eléctrico, densidad de carga, otro) y porque?

Situación 1

Se dispone un electroscopio y un cuerpo electrificado, este último se ubica a tres diferentes posiciones del electroscopio como se muestra en la figura.

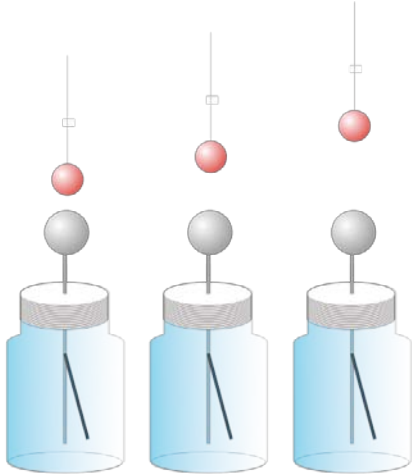


Figura 43. Situación para el análisis del efecto de la distancia de cuerpos electrificados 1

Situación 2

Se dispone de un electroscopio y un cuerpo electrificado, comparado con otra esfera conductora de diámetro mayor y que contiene en su interior al primer cuerpo electrificado. Como se muestra en la figura 44.

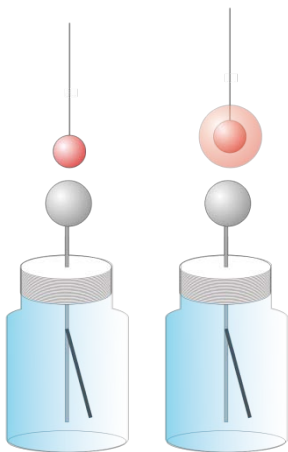


Figura 44. Situación para el análisis del efecto de la forma de cuerpos electrificados

Se puede asociar la abertura del electroscopio con alguna cualidad conocida en la electrostática, si la hay ¿Cuáles serían las condiciones para garantizar que la abertura del electroscopio da cuenta de esa cualidad y no de otra?

Se invita a analizar la construcción de un instrumento que no solo permite identificar la cantidad de electrificación o carga eléctrica, sino también, permitirá hacer una organización de esta cantidad, al punto de cuantificarla. El siguiente electroscopio es propuesto por Mario Guerra, ver figura 45.

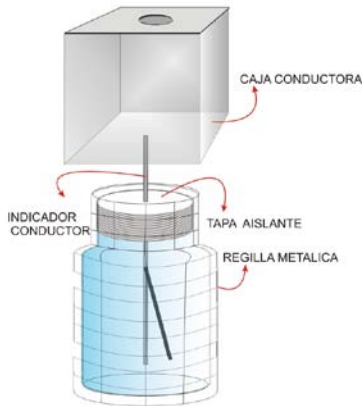


Figura 45. Electroscopio propuesto por M. Guerra

Retome las conclusiones sobre los metales y realice la actividad anterior pero en esta ocasión el electroscopio a utilizar es el de guerra, como se muestra en las siguientes figuras.

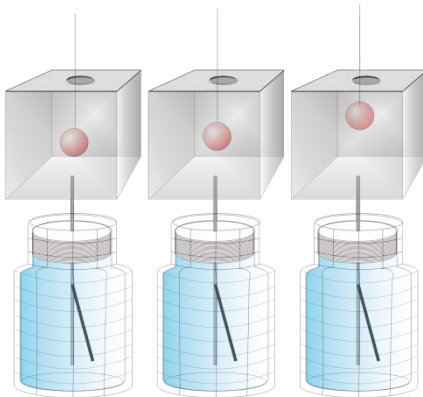


Figura 46. Situación análoga para el análisis del efecto de la distancia de cuerpos electrificados

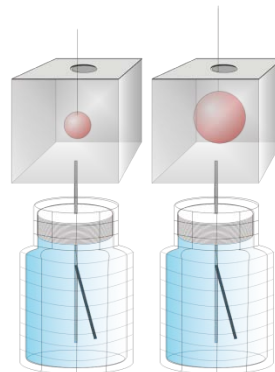


Figura 47. Situación análoga para el análisis del efecto de la forma de cuerpos electrificados

¿Cómo justificaría usted que este instrumento determina la cantidad de electrificación y no otra cantidad?

¿De qué manera plantearía usted una actividad en la que se determine las consecuencias de utilizar un electroscopio sin caja auxiliar para ordenar la cantidad de electrificación? ¿Cuál es la función de la caja auxiliar en el electroscopio de guerra?

A continuación se presentan tres electroscopios, diseñe una actividad para sus estudiantes o futuros estudiantes que permita establecer las diferencias que existen al acercar un cuerpo electrificado a cada uno de estos tres instrumentos

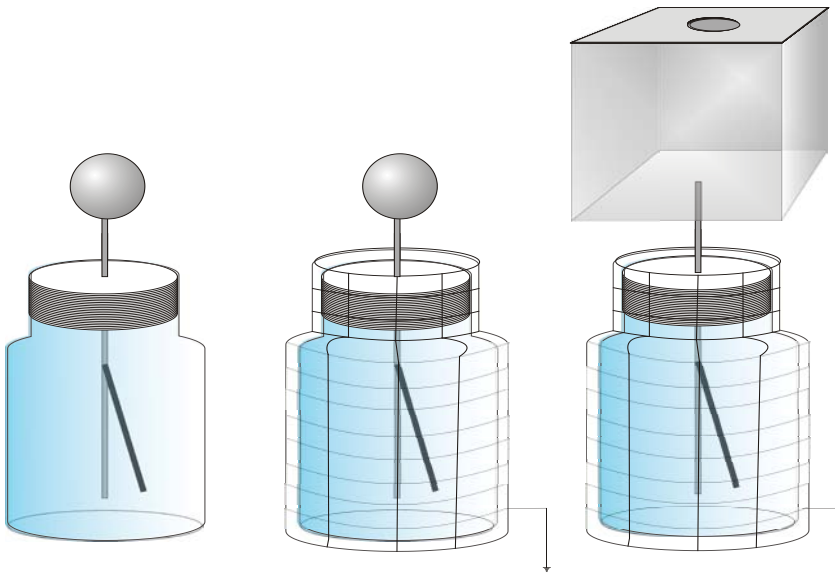


Figura 48. Juego de electroscopios

Con el electroscopio de Guerra se puede empezar a establecer un orden de los cuerpos electrificados en relación a su cantidad de electrificación o carga eléctrica, dígame si se tienen tres cuerpos electrificados, se podrían ordenar del de mayor carga al de menor carga según la abertura del electroscopio.

Sin embargo este criterio no es suficiente para determinar una relación de cantidades entre estos cuerpos electrificados, es decir, poder determinar por ejemplo que la carga eléctrica de un cuerpo es doble de la de otro cuerpo.

Proponga utilizando el electroscopio de Guerra:

- Un método para establecer que dos cuerpos se encuentran electrificados con la misma cantidad de carga.
- Un método para determinar que un cuerpo se encuentra electrificado con una cantidad de carga eléctrica el doble o el triple que otra. Analicemos el siguiente experimento de Maxwell. Apóyese en la siguiente experiencia.

Experimento VI: Sea un segundo recipiente metálico aislado, B y sean el trozo de vidrio electrificado puesto en el interior del primer recipiente, A, y el trozo de resina electrificado en el recipiente B. Póngase los dos recipientes en contacto mediante el alambre metálico como en el experimento III. Todos los signos de electrificación desaparecerán.

Luego retire el alambre y saque los trozos de vidrio y resina de los recipientes sin tocarlos. Se encontrará que A está electrificado resinosamente y B vítreamente. Si ahora el vidrio y el recipiente A se introducen juntos en el recipiente metálico C, más grande y aislado, se encontrará que no hay electrificación fuera de C. Esto muestra que la electrificación de A es exactamente igual y opuesta a la del trozo de vidrio, y la de B se puede mostrar de la misma manera que es igual y opuesta a la del trozo de resina.

Así hemos obtenido un método para cargar un recipiente con una cantidad de electricidad exactamente igual y opuesta a la de un cuerpo electrificado sin alterar la electrificación de este último y de esta manera podemos cargar cualquier número de recipientes con exactamente iguales cantidades de electricidad de cualquier clase que podemos tomar como unidades provisionales.

Para finalizar se propone reflexionar sobre las conclusiones de Maxwell en torno a la primera fase de experimentos en su tratado de electricidad y magnetismo.

Encontraremos, cuando veamos la teoría matemática de la electricidad, que el resultado de este experimento aporta una prueba precisa de la veracidad de la teoría. Antes que procedamos a la investigación de la ley de fuerza eléctrica, enumeremos los hechos que hemos establecido. Poniendo cualquier sistema electrificado dentro de un recipiente conductor abierto y aislado, y examinando el efecto resultante sobre el recipiente exterior obtenemos el carácter de la electrificación del sistema ubicado en el interior sin ninguna comunicación de la electricidad entre los diferentes cuerpos del sistema.

La electrificación del exterior del recipiente puede probarse con gran delicadeza poniéndola en contacto con un electroscopio. Podemos suponer que el electroscopio consiste de una lámina de oro colgando entre dos cuerpos cargados, uno positivamente y otro negativamente. Si la lámina de oro se electrifica se inclinará hacia el cuerpo cuya electrificación es opuesta a la propia. Aumentando la electrificación de los dos cuerpos y la delicadeza de la suspensión, se puede detectar una electrificación suficientemente pequeña de la lámina de oro. Cuando describamos electrómetros y multiplicadores encontraremos que aún métodos más delicados para detectar la electrificación y para probar la precisión de nuestras teorías, pero, en el presente supondremos que la prueba se hace por la conexión del recipiente abierto con un electroscopio de lámina de oro.

Este método fue usado por FÁRADAY en su demostración muy admirable de las leyes de los fenómenos eléctricos. 34. I. La electrificación total de un cuerpo o sistema de cuerpos permanece siempre la misma a excepción de que reciba electrificación de otros cuerpos o la ceda. En todos los experimentos eléctricos se encuentra que la electrificación de los cuerpos cambia, pero este cambio siempre se debe a la falta de una perfecta aislación y a medida que los medios de aislación son mejorados, la pérdida de electrificación se vuelve menor. Por lo

tanto podemos afirmar que la electrificación de un cuerpo ubicado en un medio perfectamente aislante se mantendrá perfectamente constante. II. Cuando un cuerpo electrifica a otro por conducción, la cantidad total de electrificación permanece la misma, es decir que uno pierde tanta electrificación positiva o gana tanta negativa como el otro gana electrificación positiva o pierde de la negativa. Porque si los dos cuerpos son encerrados en el recipiente abierto no se observa ningún cambio de la electrificación total. III. Cuando la electrificación se produce por fricción o por cualquier otro método conocido, se producen iguales cantidades de electrificación positiva y negativa. Porque la electrificación de todo el sistema puede ser probada en el recipiente abierto o el proceso de electrificación puede llevarse a cabo en el recipiente mismo y no importa cuán intensa pueda ser la electrificación de las partes del sistema, la electrificación del todo como lo indica el electroscopio de lámina de oro es invariablemente cero.

La electrificación de un cuerpo es por lo tanto una cantidad física capaz de medida y dos o más electrificaciones se pueden combinar experimentalmente con un resultado de la misma clase como cuando dos cantidades son sumadas algebraicamente. Por lo tanto estamos obligados a usar un lenguaje adecuado al tratar con la electrificación tanto como una cantidad y una cualidad; y hablar de cualquier cuerpo electrificado como "cargado con una cierta cantidad de electricidad positiva o negativa". Mientras admitamos a la electricidad, como hemos hecho hasta ahora, como una cantidad física no podríamos apresuradamente suponer que es o no una sustancia, o que es o no una forma de energía, o que pertenece a cualquier categoría conocida de cantidades físicas. Todo lo que hasta ahora hemos probado es que no puede ser creada o destruida; de tal forma que si la cantidad total de electricidad en una superficie cerrada es aumentada o disminuida, el aumento o disminución debe haber entrado o salido a través de la superficie cerrada.

Este es un hecho verdadero y es expresado por la ecuación conocida como la Ecuación de Continuidad en Hidrodinámica. No es cierto del calor, porque el calor puede aumentar o disminuir en una superficie cerrada sin entrar o salir de la superficie, por la transformación de alguna otra forma de energía en calor o del calor en alguna otra forma de energía. Esto no es cierto aún para la energía en general si admitimos la acción inmediata de cuerpos a distancia. Porque un cuerpo en el exterior de la superficie cerrada puede hacer un intercambio de energía con algún cuerpo dentro de la superficie. Pero si toda la acción a distancia aparente es el resultado de la acción entre las partes de un medio interviniente es concebible que en todos los casos de aumento o disminución de energía dentro de una superficie cerrada podamos, cuando la naturaleza de esta acción de las partes del medio es claramente entendida, rastrear el pasaje de energía hacia dentro o hacia fuera de esa superficie.

ACTIVIDAD N°3

Responda:

1. ¿Cuál fue el papel del instrumento en la medición de la cantidad de electrificación?

2. Compara y establece diferencias entre el papel del experimento de la sesión anterior y esta.
3. ¿Cuál es la relevancia de los consensos y de los sujetos involucrados en estos, en el proceso de construcción de magnitudes?
4. Se podría afirmar, que las primeras sesiones se han centrado en la organización de los fenómenos electrostáticos, esta sesión se centrará en la construcción y medición de magnitudes. ¿Qué tan relevante es para la enseñanza de la electrostática, involucrar al estudiante en este tipo de actividades? ¿Qué le aportó para el trabajo como docente?

Se realizará una plenaria en torno a:

- Los que aspectos son relevantes en una cualidad en el momento de establecer una relación isomorfa con una estructura numérica.
- Si esta cualidad que hemos llamado cantidad de electrificación es digna de caracterizarla como una magnitud.

SESIÓN 4

LA COSTRUCIÓN DEL POTENCIAL ELECTRICO

“Si buscas resultados distintos, no hagas siempre lo mismo”.
Albert Einstein

OBJETIVO GENERAL

Analizar la idea de estado y equilibrio eléctrico para la construcción del potencial eléctrico como una cualidad asociada a estas ideas, mediante la interacción de sistemas electrificados.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avanzar en el proceso de cuantificación del potencial eléctrico, separando esta cualidad de otras presentes en el fenómeno eléctrico. Mediante analogías con la mecánica de fluidos.
- Recoger algunas reflexiones en torno al papel de la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias.
- Explicitar algunos elementos propios de la actividad de cuantificar el potencial eléctrico.

JUSTIFICACIÓN

Hasta el momento, el conocimiento sobre el comportamiento de los conductores ha resultado de gran relevancia en la modificación de un instrumento para la medición de la cantidad de electrificación. Es necesario entonces ampliar las experiencias con estos materiales para la medición en este caso del potencial eléctrico, lo que contribuye a la introducir formas particulares de “ver” los fenómenos físicos.

ACTIVIDAD N°1

Se dispone de dos recipientes metálicos uno de ellos se encuentra electrificado, como se muestra en la figura 49. Si este se coloca en contacto por medio de un cable conductor con el segundo recipiente metálico.

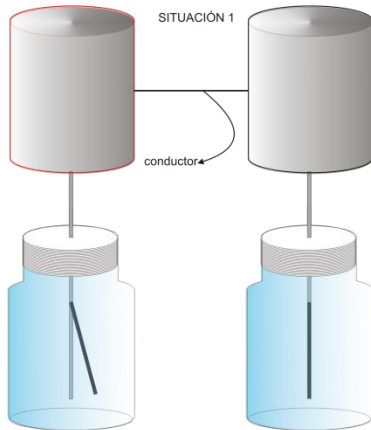


Figura 49. Situación 1 para el análisis por estados

¿Considera que se debería esperar que ambos recipientes cambiasen su estado de electrificación?. Describa como serían estos cambios en las siguientes dos situaciones. Véase las figuras 49 y 50.

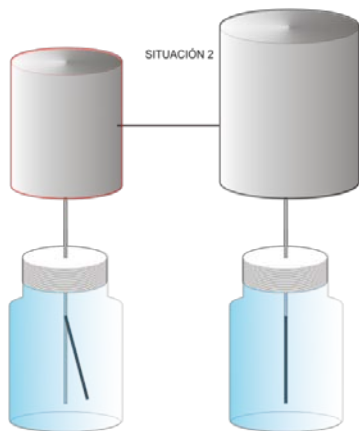


Figura 50. Situación 2 para el análisis por estados

El recipiente que inicialmente estaba sin electrificación fue electrificado y podría plantearse que por medio del cable conductor hubo conducción. ¿Cuáles son las

características que hace que se inicie y cese la conducción en cada una de las dos situaciones?

Compare el análisis de estas dos situaciones con otras analógicas en la mecánica de fluidos. Véase figura 51.

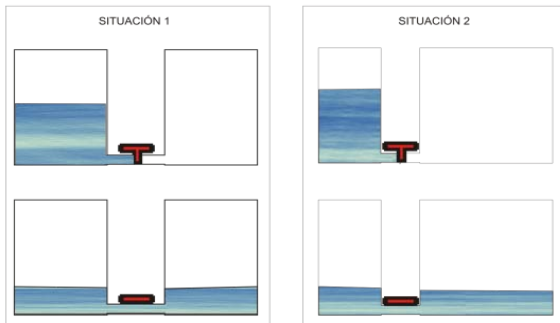


Figura 51. Analogía con fluidos

¿Qué se puede decir de las cantidades de electrificación en cada uno de los recipientes después del contacto en ambas situaciones?

Compare la cantidad de electrificación en los recipientes que inicialmente estaban sin evidencias de electrificación en ambas situaciones.

Si se tienen dos recipientes como se muestra en la figura 52, que mediante el electroscopio de Guerra se determinó que la cantidad de electrificación en ambos recipientes metálicos es la misma, y luego estos se colocan en contacto mediante un cable conductor. ¿Qué se puede decir del estado final de electrificación de los cuerpos y de la conducción por este cable?

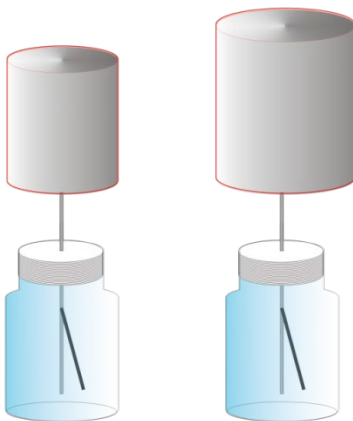


Figura 52. Situación 3 para el análisis por estados

De las experiencias anteriores, ¿Que se puede decir del equilibrio electrostático?, ¿Que es lo que se equilibra? ¿Qué papel juega la cantidad de electrificación con respecto a la condición final de equilibrio?

A esa cualidad que no es cantidad de electrificación, y que determina el estado de equilibrio de los sistemas anteriores la denotaremos potencial eléctrico.

¿Si un conductor está en condiciones electrostáticas, es decir, no hay conducción en este. ¿Se podría afirmar que la superficie del conductor está al mismo potencial eléctrico y en consecuencia considerarla como una superficie equipotencial?

ACTIVIDAD N°2

Para el desarrollo de esta actividad primero, Retome la actividad de la sesión anterior en la cual un cuerpo electrificado se coloca en contacto con el interior y luego con el exterior de un recipiente metálico. Véase la figura 53.

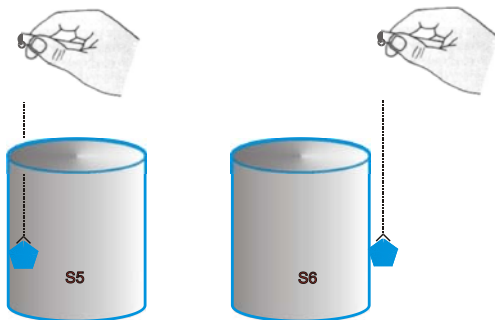


Figura 53. Analisis de regiones limitadas por superficies conductoras

En segundo lugar, coloque un cuerpo electrificado en contacto con la tierra y relacione esta experiencia con la situación anterior. y tercero analice la propuesta de Eligio Peruca en su libro fisica general y experimental. “el estudio de la electrostatica podría ser considerada como el problema de conductores electrificados al interior de un gran conductor, tierra”. Enuncie elementos a favor o en contra de esta propuesta.

Por otro lado el potencial eléctrico es una cualidad que da cuenta del estado de electrificación de un sistema, pero solo lo hemos identificado en la interacción de cuerpos con diferentes estados de electrificación. ¿Cuál es el papel de la interacción eléctrica en la construcción e identificación de la cualidad potencial eléctrico?. ¿Qué pasaría si todos los cuerpos se encontrasen con el mismo estado de electrificación, tendría algún sentido su estudio?.

Expresa su opinión en torno a la siguiente afirmación “no se puede dar cuenta del estado de electrificación de un cuerpo si no es en la relación a otro cuerpo”

ACTIVIDAD N°3

Hay otra cualidad que puede construirse en el caso de los cuerpos electrificados y conocerla podría servir para avanzar en la construcción de la magnitud potencial eléctrico. Cuando un conductor se encuentra electrificado y este no presenta una forma homogénea, se puede experimentar que hay regiones del conductor en la cual las aberturas generadas en un indicador eléctrico son diferentes como se muestra en la figura 54.

¿Cómo se relaciona esta cualidad con el equilibrio electrostático?

¿Por qué se puede considerar que es una cualidad diferente a la cantidad de electrificación y al potencial eléctrico?.

¿A qué cualidad eléctrica se le puede asociar la abertura diferente en los indicadores eléctricos?.

SESIÓN 5

LA MEDIDA DEL POTENCIAL ELÉCTRICO DE UN CONDUCTOR

“En el campo de la observación, la oportunidad sólo favorece a la mente preparada”.
Luis Pasteur

OBJETIVO GENERAL

Analizar el papel de la actividad experimental en una aproximación de la cuantificación, del potencial eléctrico, sobre la superficie de un conductor.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el electroscopio como un condensador que da cuenta de diferencias de potencial.
- Identificar al potencial eléctrico como una magnitud intensiva.
- Recoger algunas reflexiones en torno al papel de la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias.

JUSTIFICACIÓN

Hasta el momento se han hecho los análisis pensando en la electrificación de recipientes conductores y se han desarrollado algunos elementos para determinar el estado de electrificación y con ello el potencial eléctrico.

Por otro lado se ha hecho notar que los recipientes metálicos cerrados, o mejor, las superficies conductoras cerradas tienen un comportamiento especial pues definen las fronteras de regiones del espacio, de modo que: 1) una vez electrificado un recipiente metálico por acción de un cuerpo electrificado en su interior, cualquier cambio de este en su interior no afecta el exterior de éste y 2) lo que ocurre en el exterior de la superficie conductora cerrada no perturba el interior de ésta. Además a través de las experiencias se ha hecho notar también que al observar una región del espacio exterior y cercano al recipiente metálico electrificado, no es posible discriminar si está electrificado por conducción o por inducción y por lo tanto el efecto de electrificación por inducción es equivalente al efecto de electrificación por conducción.

ACTIVIDAD N°1

Hoy en día es común utilizar el multímetro, o voltímetro, para medir voltajes o diferencias de potencial. Estos dispositivos funcionan a partir de corrientes eléctricas que circulan a través de ellos. En el caso de algunos generadores electrostáticos, donde no hay corrientes ¿Cómo se podría medir el potencial eléctrico de un sistema en condiciones electrostáticas, como en el caso del generador de Van de Graff.?

En este mismo sentido, en la sesión anterior se vio cómo el conocimiento del comportamiento de los conductores, permitió hacer una modificación en el electroscopio (el electroscopio con una caja metálica), de mucha utilidad para la organización de la cantidad de electrificación, ¿Qué tipo de conocimientos se requieren y qué tipo de modificaciones tendríamos que hacerle al electroscopio para tener un instrumento que nos permita avanzar en la organización del

potencial eléctrico es decir un instrumento que dé cuenta del potencial eléctrico y no otra cualidad?

Reflexione sobre la siguiente experiencia. Suponga que tiene dos sistemas como los que se muestran en la figura 54, inicialmente el recipiente de mayor tamaño se encontraba con cierto estado de electrificación, mientras el de menor tamaño no exhibía ningún signo de electrificación, después de colocarlos en contacto por medio de un conductor se presenta un equilibrio en los estados de electrificación, pues los dos recipientes forman un solo sistema. Luego si los dos electroscopios con recubrimiento metálico son idénticos deberían marcar lo mismo. ¿Cuál es el papel de los conductores en la anterior?

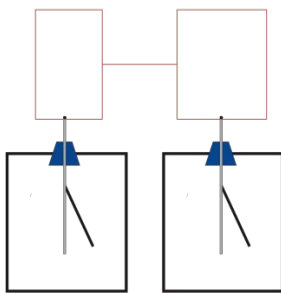


Figura 54. Situación experiencia mental 1:

A continuación se propone la siguiente experiencia mental en primer lugar, situación 1, imagine que en la anterior situación el recipiente pequeño se hace cada vez más pequeño. Ver figura 55, ¿Se podría mantener la conclusión anterior sobre el equilibrio electrostático? Justifique.

¿Si lo hace tan pequeño que pueda considerarse una línea o un punto se podrían mantener las conclusiones respecto al equilibrio? Justifique.

En segundo lugar, situación 2, si los dos electroscopios que se encuentran a la base del recipiente son los mismos y marcan la misma condición de equilibrio, no habría necesidad de los dos bastaría con uno para dar cuenta de este equilibrio.

SITUACIÓN 1

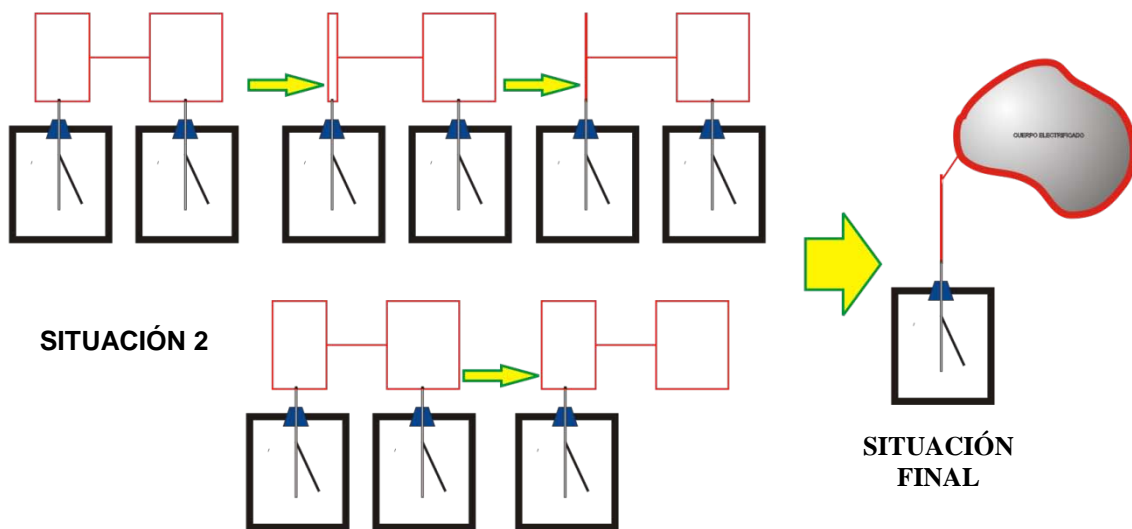


Figura 55. Situación experiencia mental 2

En resumidas cuentas se tendrían elementos para hacer la siguiente propuesta: la situación final un cuerpo electrificado en contacto con un electroscopio, en el cual tanto el indicador del electroscopio como el cuerpo electrificado forman un solo sistema con el mismo estado de electrificación. Y la lectura en el electroscopio está dando cuenta de este equilibrio, pero como el indicador es tan pequeño, se podría hacer una aproximación a que el indicador está dando cuenta del estado de electrificación del cuerpo electrificado.

Escriba sus opiniones frente a esta propuesta y si tiene otra propuesta para disponer de un instrumento que dé cuenta del estado de electrificación, puede proponerlo.

ACTIVIDAD N°2

En la guía anterior y durante el consenso previo a esta guía, se determinará que a esa cualidad que da cuenta del equilibrio entre dos cuerpos con diferentes estados de electrificación se llamará "Potencial eléctrico". Situación que sólo es posible de observar mediante la comparación y no por sí sola, es decir, se pudo dar cuenta del estado de gracias a que existían diferencias entre estos, de esta forma, se da cuenta de que no tiene sentido hablar del potencial de un cuerpo en sí, pues solo se puede hacer esto, comparándolo con otro y por tanto se afirma que es de una diferencia de estados de electrificación y no del estado de electrificación de un cuerpo.

¿Qué opinión tiene usted frente a la anterior reflexión? Argumente en caso de una opinión convergente o divergente.

¿Qué otras cualidades físicas conoces cuya medición se realice a través de diferencias entre cualidades del mismo tipo?

La actividad inicial de esta guía se propuso el siguiente esquema para dar cuenta del estado de electrificación de un cuerpo. Ver figura 56. De este se sabe que el cuerpo electrificado y el indicador del electroscopio están en el mismo estado de electrificación. Entonces el indicador está dando cuenta de una diferencia de estados de electrificación, pero, a cual diferencia hace referencia. En este caso, ¿El indicador se mueve debido a la diferencia de potenciales entre que sistemas?

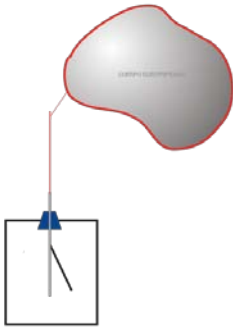


Figura 56. Situación experiencia mental 3:

Esto puede ayudarlo: un condensador es un dispositivo formado por dos conductores con diferentes estados de electrificación, separados por un dieléctrico. En éste se presentan presiones electrostáticas de forma tal que las placas tienden a unirse.

¿Cuáles son las características que debe tener un electroscopio para que este pueda ser considerado como un condensador o capacitor?

Por otro lado, si de lo que se puede dar cuenta es de la diferencia, entonces si se tienen dos sistemas con diferentes estados de electrificación y conocemos alguno de estos estados, la diferencia nos estaría dando cuenta del estado de electrificación del cuerpo desconocido.

En este caso, se puede considerar al igual que Peruca y Maxwell, el potencial de la tierra como conocido e igual a cero, es decir, la tierra es un gran conductor que posee un tamaño muy grande en relación a los órdenes de magnitud que se manejan, los cambios experimentados en su estado de electrificación no son detectables, es decir, se asume por convención que posee un potencial nulo. De

esta manera se convierte en una excelente referencia para el análisis de los estados de electrificación de los cuerpos.

Teniendo en cuenta lo anterior, ¿Se podría considerar el electroscopio de la figura 57 como un instrumento que da cuenta del potencial eléctrico de un cuerpo electrificado? Justifique su respuesta.

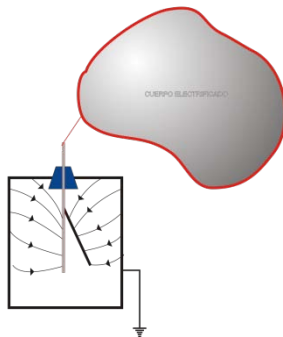


Figura 57. Situación experiencia mental 4

Diseñe un procedimiento para establecer el orden de estados de electrificación de diferentes conductores electrificados.

Para continuar avanzando en el proceso de cuantificación de esta cualidad, se debe establecer un procedimiento y una forma de establecer una unidad patrón.

Este ultimo suele establecerse con un fenómeno fácil de reproducir y que arroja el mismo efecto bajo las condiciones establecidas, tal es el caso de la pila, pues, a igualdad de naturaleza química de los conductores que constituyen una pila, a igualdad de condiciones físicas (Temperatura, presión, Luminosidad) la diferencia de potencial que se manifiesta en los extremos de la pila en circuito abierto es fija y constante. Para este caso en particular, se puede imaginar un electroscopio con caja metálica y calibrarlo con pilas.

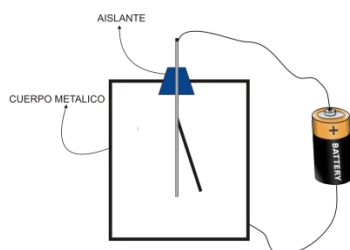


Figura 58. Electroscopio con caja metálica calibrarlo con pilas

Diseñe un procedimiento para calibrar un electroscopio con pilas, es decir, un electroscopio en cual se pueda comparar el potencial de un cuerpo electrificado con la escala construida con las pilas.

Proponga un procedimiento para medir el potencial eléctrico de un conductor electrificado utilizando un electroscopio con las características indicadas en esta guía.

ACTIVIDAD N°3

¿Una persona que no ha participado de la construcción de la magnitud del potencial eléctrico, podría interpretar que la abertura de las láminas del electroscopio de la figura da cuenta del potencial eléctrico y no de otra cualidad?

¿A lo largo del trabajo en las sesiones, que aspectos han sido tenidos en cuenta en la modificación del instrumento?

¿Cuál es la función del instrumento en las construcciones que se hacen del fenómeno eléctrico?

¿Según lo vivido la actividad experimental se puede reducir a un espacio de una práctica en particular?

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE TRABAJO

A través de este trabajo de investigación se consolidó **un conjunto de actividades didácticas en torno a la cuantificación del potencial eléctrico**, lo cual constituye una alternativa con respecto al papel de la actividad experimental en la construcción del conocimiento físico.

Dichas alternativas, han sido valoradas no solo por su fortaleza en el aspecto disciplinar -soportada por las reflexiones epistemológicas y procesos de re contextualización-, sino también por los diferentes procesos de refinación gestionados por un grupo de expertos e implementado en un grupo de profesores en formación.

Dado que estas formas de abordar la enseñanza de la física generan **actitudes y disposiciones positivas en los participantes**, diferentes a las que se generan en la forma tradicional en lo que se refiere a la construcción del conocimiento, este material educativo presenta a futuro, **perspectivas de trabajo en la formación continuada de maestros de física** tanto a nivel medio como universitario que toman como referencia este material.

Un **enfoque histórico- epistemológico** como el propuesto, resulta útil en la enseñanza de las ciencias, en la medida en que contribuye a plantear alternativas de trabajo para problemas actuales en la enseñanza de las ciencias. Así mismo, genera un nuevo y amplio espacio de posibilidades para la estructuración de la física que pretende ser enseñada, no solo en cuanto a la definición de problemáticas a abordar en los cursos de física, sino también en cuanto a la configuración de actividades y criterios para orientar los procesos de conocimiento de los estudiantes en torno a éstas. De esta manera, también se resalta el acercamiento a las fuentes originales y el análisis que de ellos se realiza, porque constituye una forma de construir opciones para la enseñanza de la física al configurar una mirada sobre el fenómeno abordado en el texto original; valorar y caracterizar los aportes del autor, y así elaborar criterios para orientar los procesos de conocimiento en el aula.

Propuestas de este tipo, ponen en evidencia que el asunto de la experimentación no puede ser una elección contingente, accidental, o accesoria a la enseñanza de las ciencias, pues, **la relación presente entre las construcciones conceptuales, los instrumentos y procesos de medida, y las experiencias**, son de naturaleza constitutiva a la ciencia, es decir son tres campos presentes en los procesos de construcción del conocimiento que carecen de algún orden jerárquico pues, uno gira en torno a los otros dos en consecuencia, son dimensiones que deben integrarse en la misma construcción conceptual y no pueden verse separadas en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Debíamos

Construir magnitudes, relaciones y procedimientos apropiados para representar, cuantificar y examinar los procesos involucrados en la construcción de una determinada magnitud, particularmente las intensivas, adquiere gran importancia por lo menos en dos aspectos: el primero desde el punto de vista pedagógico, pues, la caracterización de estos procesos a través de la re-contextualización de la historia de las ciencias, se convierte en una necesidad.

De esta manera el docente se involucra en las dinámicas propias de la construcción del conocimiento físico, así, no solo tendrá alternativas para estructurar la física a enseñar, sino también, elementos para orientar los procesos de conocimiento en los cursos de física. Y el segundo, al mostrar que la misma

reflexión sobre la construcción disciplinar que se está haciendo, induce a proponer situaciones experimentales, así como las situaciones experimentales ayudan a organizar la experiencia misma, es decir, posibilita evidenciar las dinámicas propias del trabajo científico y por lo tanto, una forma de ver y de analizar el mundo.

La relación tanto entre el docente con la disciplina como la del estudiante con la misma no debe de ser de exterioridad frente a la construcción del conocimiento.

Por un lado enriquece la labor docente en la medida que le presenta alternativas para modificar su que hacer docente y por el otro, porque es más significativo para el estudiante el aprendizaje de las ciencias cuando se le permite ser partícipe de sus procesos de construcción de su conocimiento, por ejemplo al involucrarse en el diseño de actividades experimentales.

Como perspectiva de trabajo, el análisis por estados y transformaciones de los fenómenos físicos, se constituye en una perspectiva de trabajo que no antagoniza con enfoques contemporáneos de construcción del conocimiento científico y en consecuencia, presenta fuerte conexiones con la enseñanza de la física moderna a nivel de la educación media, pues de lo que se trata no es de enseñar los tecnicismos, sino los fundamentos claves, como por ejemplo la noción de estado, o sistema.

Si bien nuestra propuesta se ha mostrado desde una perspectiva particular (la electrostática), también podría hacerse desde otra perspectiva, a saber desde las bases de la Mecánica, la Térmica o la cuántica.

En síntesis, lo anterior pone de manifiesto la importancia de este tipo de enfoques, pues, propenden por el desarrollo de los esquemas cognitivos que están a la base de las organizaciones que se hacen de la naturaleza y no a la enseñanza de teorías.

ANEXOS

ANEXO A. Preámbulo a la sesión 1.

ACTIVIDAD N°1

Indicaciones para el relato

Describa una actividad experimental que haya realizado durante su proceso de formación o con sus estudiantes, si ha tenido la oportunidad de ejercer, en temas relacionados con el fenómeno eléctrico, desde su planeación, intenciones y fundamentos. Luego enumere secuencialmente todas las cosas que sucedieron hasta el final de la actividad experimental. Si no ha trabajado esta temática, escoja otra. No se restrinja por el Número de páginas, utilice las que considere necesarias, porque todo lo que sea importante para usted es interesante para nosotros.

ACTIVIDAD N°2

En varias investigaciones realizadas en torno a la actividad experimental, se ha considerado que las prácticas de laboratorio se utilizan para: motivar a los estudiantes, verificar los conocimientos teóricos, aprender a manipular instrumentos, adquirir destrezas de medición, aprender a obtener resultados correctos, demostrar leyes y relaciones, el desarrollo conceptual referido al que hacer experimental. En una escala de 0-5 indique el grado de utilización de cada uno de estos aspectos en la descripción de la actividad experimental antes relatada. Consigne las observaciones referentes a la valoración asignada.

En su relato, la actividad experimental se emplea para:

- Favorecer el ambiente en el aula y motivar a los estudiantes.
- *Verificar los conocimientos teóricos.*
- *Aprender a manipular instrumentos.*
- *Adquirir destrezas en la medición de magnitudes.*
- *Aprender a obtener resultados correctos.*
- Avanzar en el desarrollo conceptual.

- *Como una actividad de construcción conceptual y reflexión teórica.*
- *Otra. Cuál.*

A partir de estas reflexiones enuncie cómo concibe la actividad experimental en la enseñanza de la Física.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARONS, A. B., 1997, *Teaching Introductory Physics*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1997.

ARRIETA Y MARÍN. *Del Experimento al Concepto. Este trabajo forma parte del proyecto de Investigación N° 01550-00, financiado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES). 2003.*

CACHAPUZ, Antonio F. y GONÇALVES, María B. *De la teoría a la práctica: la investigación acción como estrategia para la innovación en la formación del profesorado de química. Un ejemplo en la enseñanza del laboratorio del tema ácido / base. Revista Educación Química 15(1). Certidumbres y desafíos para una formación a lo largo de la vida. En: revista educar, vol 30. 2004.*

CAMPBELL, Norman, 1994. Medición, En: NEWMAN. ed., *Sigma: el mundo de las matemáticas*, tomo 5, Barcelona, Grijalbo.

DUHEM P.: 1914/1954, *The Aim and Structure of Physical Theory* (transl. of *La Théorie Physique: Son Objet, Sa Structure*, second ed. 1914 Paris), Princeton University Press, Princeton.

FALK de LOSADA, María. *Introducción a la matemática contemporánea*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 1992.

FLICK, Uwe. *Introducción a la Investigación Cualitativa*. Madrid Morata S.L. 2007

_____ *Introducción a la investigación cualitativa. Entrevistas semiestructuradas*. (pp. 89- 109). Madrid, Morata S.L. 2004.

GIERE, R. N.: 1999, *Science without laws*, University of Chicago Press, Chicago.
Guerra, Mario. Et al. 1985. *Física, elementos y fundamentos*, tomo II, Barcelona, Reverté S.A.

GUIDONI, P et al, 1987, *Guardare per sistemi, guardare per variabili*, Torino, Emme Edizioni, 1987.

HANSON, N.R.: 1958, *Patterns of Discovery*, Cambridge University Press, Cambridge.

_____ *Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), pp.299-313. 1994.

_____ *Re-Thinking Old Ways: Towards a More Critical Approach to Practical Work in Science*, *Studies in Science Education* 22, 85–142. 1993.

_____ *Laboratory work as scientific method: three decades of confusion*. 1996.

KOPONEN, I. y Mäntylä, T. *Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching Physics: A Suggestion for Epistemological Reconstruction*. 2004.

MACH, Ernst. *Conocimiento y error. Cap. XI: La experimentación mental, pp.159-170. Cap. XII: La experimentación física, pp. 171-182*. Espasa-Calpe Argentina S.A., Buenos Aires. 1948.

MALAGÓN SÁNCHEZ, José Francisco. *Teoría y experimento, una relación dinámica: Implicaciones en la enseñanza de la física*. Departamento de Física, UPN. Colombia. (Documento Inédito). 2002.

MAXWELL, James Clerk. *A treatise on electricity and magnetism" vol. I, Dover Publications Inc., New York, 1954. 1 Ver. Sir W. Thompson. "On mathematical theory of electricity in equilibrium. Cambridge and Dublin Mathematical Journal, Marzo 1848.*

MEDINA TAMAYO, Julián David. *La metodología de taller en la enseñanza de la física como una actividad*. Trabajo monográfico para optar al título de Licenciado en Matemáticas y física. Universidad de Antioquia, Facultad de Educación. 2003.

MILLAR, R. *What is Scientific Method and Can it be Taught?'*, in J. Wellington, (ed.), *Skills and Processes in Science Education*, Routledge, London. 1989.

MORGAN, D.L. y Krueger, R.A. *The Focus Group Kit (6 vols.)* Thousand Oaks, CA: Sage. 1998.

NICKELS, T.: *Justification and experiment'*, in D. Gooding, T. Pinch and S. Schaffer (eds.), *The uses of experiment: Studies in the natural sciences*, Cambridge University Press, Cambridge. 1993.

PERUCA, E. *Física general y experimental tomo II. Traducción de la cuarta versión en italiana*, por Juan Melis y Jose Maria Vidal. Edit. LABOR,pp 1388-1441. 1944.

PESA, M. *Concepciones y preconcepciones referidas a la formación de imágenes"*. *Revista de Enseñanza de la Física*, Vol. 12, Nº 1, pp. 13-46. 1999.

POLLOCK, F. (1995): *Gruppenexperiment: Ein studienbericht*. Frankfurt: Europäische Verlag sanstalt.

ROMERO Ángel. Hacia una imagen cultural de las ciencias y su enseñanza. Conferencia presentada en el marco del IV congreso de enseñanza de las ciencias. 2008.

_____. Conferencia: Historia y Epistemología de las Ciencias y Educación en Ciencias. Tercer encuentro de enseñanza de la física Universidad Pedagógica Nacional. 2009.

_____. RODRÍGUEZ Olga, *El Concepto de Magnitud como Fundamento del Proceso de Medición. La Cuantificación de los Estados de movimiento y sus Cambios. Revista de Educación y Pedagogía*, Medellín, Universidad de Antioquia, Facultad de Educación, Vol XVII, Núm. 43, 2005, pp. 127-140.

_____. I. 2005. *El concepto de Magnitud como Fundamento del proceso de Medición. La cuantificación de los estado de Movimiento y sus Cambios. Revista, Educación y Pedagogía* ,Nº43. Universidad de Antioquia, Facultad de Educación.

SHULMAN Y GROSSMAN. Profesores de Sustancia: el conocimiento de la Materia Para la Enseñanza. *Revista de Curriculum y Formación del Profesorado*, 9, 2. Reynolds (ed.). 2005.

SUPPE, F.; *The Structure of Scientific Theories* (second edition), University of Illinois Press, Urbana. Giere, R. N.: 1988, *Explaining Science: a cognitive approach*, University of Chicago Press, Chicago. 1977.

TORRES, ANDRE. *The Experimental and Historical Foundations of Electricity. Montreal, Quebec H2W 2B2 Canada. Apeiron Montreal*. 2010.

VAN Fraassen, B.: *The Scientific Image*, Clarendon Press, Oxford. 1980.

WARTOFSKY, Marx, 1973, *Introducción a la filosofía de la ciencia*, tomo 1, Madrid, Alianza. 1973.

WATSON, J.R., Prieto, T. & Dillon, J.: 1995, 'The effects of practical work on students' understanding of combustion', *Journal of Research in Science Teaching* 32, 487–502.